

11 Untersuchungen zur Störstoffbekämpfung

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Methoden zur Störstoffbekämpfung, zum einen verfahrenstechnische Methoden (z. B. Flotation, Sieb- oder Zentrifugalsortierung) /150-155/, wodurch hauptsächlich größere Störstoffpartikel dem Kreislauf entzogen werden können, zum anderen die Zugabe chemischer Hilfsstoffe /156-168/. Großtechnisch werden dafür vor allem Flockungsmittel, Fixiermittel und anorganische Maskierungsmittel eingesetzt.

Die Sortieraggregate während der Altpapieraufbereitung können nur Makro-Stickys wirkungsvoll aus dem Altpapier entfernen. Trotz aufwendiger Aneinanderreihung verschiedener Sortieraggregate gelangen jedoch noch immer viele Stickys, deren flächengleicher Kreisdurchmesser die Schlitzweiten innerhalb der Feinsortierung (etwa 150 µm) um ein Vielfaches übersteigt, ins Papier. Alle Störstoffpartikel, die während der Aufbereitung nicht abgetrennt werden, können danach nur noch durch chemische Hilfsmittel unschädlich gemacht werden.

Bei Zugabe von Flockungsmittel werden kolloidale und kolloidal gelöste Mikrostickys durch Eintrag relativ großer Mengen an entgegengesetzter Ladung in aggregierte Feststoffe umgewandelt. Der nun in Flockenform vorliegende Feststoff kann mit Hilfe der Mikroflotation aus dem Kreislaufwasser entfernt werden. Bei der Mikroflotation werden feine Luftblasen im Wasser generiert, die sehr langsam aufsteigen. Während des Trennprozesses heften sich die Feststoffflocken an die feinen Luftbläschen, die zur Wasseroberfläche aufsteigen, wo dann der Feststoff abgeschöpft werden kann /169/.

Als Fixiermittel werden hochmolekulare kationische Polymere eingesetzt. Ihre Dosierung sollte möglichst früh im Papier-Herstellungsprozess erfolgen, um den in der Suspension vorliegenden Störstoffpartikeln ausreichend Zeit zu geben, mit dem Fixiermittel an den Fasern zu adsorbieren. Erst dann können weitere Additive zudosiert werden. Deren Wirkung kann dennoch eingeschränkt sein, da die auf der Faser fixierten Störstoff-Polymer-Komplexe das Aufziehverhalten weiterer Additive negativ beeinflussen können.

Unter den anorganischen Maskierungsmitteln haben sich Talkum und Bentonit in der Praxis als wirkungsvoll erwiesen. Diese Stoffe wirken insbesondere bei schwach dispergierten Störstoffpartikeln, wobei deren Aggregationsneigung durch Absättigung

der Oberflächen mit hydrophoben Mineralien unterbunden wird. Talkum adsorbiert aufgrund seines unpolaren, hydrophoben Charakters vor allem an stark hydrophoben Stoffen, wie Harze und Wachse. Die spezifische Oberfläche ist hingegen mit 12-16 m²/g relativ klein. Bentonite wirken aufgrund ihrer hohen spezifischen Oberfläche von ca. 300-800 m²/g als Adsorbens. Bedingung für die Anwendbarkeit mineralischer Maskierungsmittel ist, dass ihre sonstigen physikalischen Eigenschaften (z. B. Eigenfarbe) einem Einsatz im Papier nicht im Wege stehen.

11.1 Untersuchung verschiedener Substanzklassen

Um einen Überblick über die Effektivität von praxisbewährten Stickybekämpfungsmitteln zu bekommen, wurden unterschiedliche Substanzklassen von Stickybekämpfungsmitteln nach Herstellerangaben eingesetzt. Die eingesetzten Mineralien und die kationisierte Cellulose können folgendermaßen beschrieben werden:

- Talkum A: lamellarer, kationischer Talk/Chlorit, mittlere Teilchengröße = 3,5 µm,
- Talkum B: mikrokristalliner Talk, nicht kationisiert, mittlere Teilchengröße = 4,2 µm,
- Talkum C: teilkristalliner Talk, nicht kationisiert, mittlere Teilchengröße = 4,7 µm,
- Bentonit: natürlicher Natriumbentonit (Bentonit I) und aktivierter Natriumbentonit (Bentonit II),
- kationisierte Cellulose: Faserlänge ca. 0,15 mm, spezifische Oberfläche ca. 4 m²/g. Die über den Querschnitt hoch kationisierten Fasern wirken wie poröse Membranen, die gegenüber gelösten oder kolloidal vorliegenden anionischen Substanzen eine hohe Adsorptionsaktivität aufweisen.

Bei den eingesetzten chemischen Hilfsmitteln handelt es sich um folgende Produkte:

- 2 Polyamine, mit einer kationischen Ladungsdichte von 6,4 meq/g (PA-1) und mit niedrigerer Ladungsdichte auf Basis eines quarternären Polyamins (PA-2),
- 1 Polyethylenimin mit einer kationischen Ladungsdichte von 9,0 meq/g,
- 4 Biodispersgator-Produkte: wässrige Zubereitung von Terpenen, Paraffinen oder Estern, die jeweils mit Emulgatoren versetzt sind,
- 2 Poly-DADMAC-Produkte mit niedrigem Molekulargewicht und starker Kationizität,
- 3 Polyvinylamine mit einem Hydrolysegrad von 30 %, 50 % und 90 %. Die Synthese von Polyvinylamin gelingt durch die Polymerisation von Vinylformamid mit

anschließender Hydrolyse (Abbildung 56), wobei Produkte mit unterschiedlichem Hydrolysegrad hergestellt werden können,

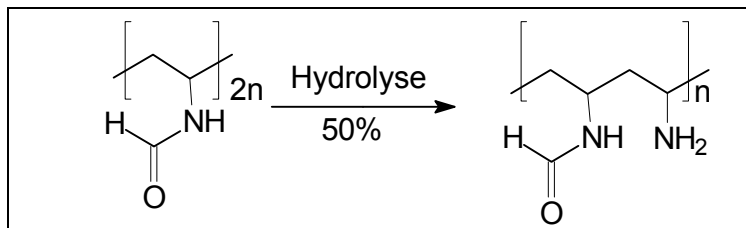


Abbildung 56: Darstellung der Wiederholungseinheit des teilhydrolysierten Polyvinylformamid-Polyvinylamin-Copolymers

- 1 Polyacrylamid mit niedrigem Molekulargewicht und hoher Kationizität,
- 1 kationisches Mischprodukt aus PAC-2 und Polyacrylamid,
- 3 Polyaluminiumchloridprodukte (siehe Tabelle 14): Primärflockungsmittel der allgemeinen Formel $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$.

Tabelle 14: Charakterisierung der PAC-Produkte

	PAC-1	PAC-2	PAC-3
pH-Wert	2,7	< 1,4	2,8
Basizität [%]	40 – 50	37	65
Al-Gehalt [Masse-%]	5,4	8,9	5,2
Cl-Gehalt [Masse-%]	9,0	22,0	12,0
SO₄-Gehalt [Masse-%]	3,0	< 1,0	1,5

Die Wirkung der eingesetzten Stickybekämpfungsmittel wurde an einem Industriestoff untersucht, der aus einer Stoffaufbereitungsanlage zur Herstellung von Tissue auf Altpapierbasis stammte. Der deinkte Altpapierstoff auf Basis von Büroaltpapier wurde nach Flotation und Feinreinigung entnommen, war aber noch nicht gewaschen, so dass eine ausreichend hohe Stickybeladung mit Partikeln unterschiedlicher Herkunft gegeben war.

Zur Evaluierung des Erfolgs der Bekämpfungsmaßnahmen wurden die INGEDE-Methode 4 und die ARS-Methode angewandt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die eingesetzten Mineralien zu einer Passivierung der klebenden Partikeloberfläche führen und dadurch eine Adsorption nach der ARS-Methode bzw. die Detektion bei der Visualisierung gemäß der Makro-Stickymethode unterbleiben sollte. Beim Einsatz chemischer Hilfsmittel ist einerseits eine Stabilisierung kleinster Partikel denkbar, so dass Agglomerationen unterbleiben und weniger Makro-Stickypartikel entstehen. Andererseits kann aber durch die eingesetzten Chemikalien auch eine Fixierung kleinster

Teilchen an den Faserstoff erfolgen, die damit für eine Adsorption am Kollektor-Sieb nicht mehr zur Verfügung stehen.

11.1.1 Mineralien und kationisierte Cellulose

In Vorversuchen wurde der Einfluss der Art der Talkumzugabe auf Makro-Stickys ermittelt. Dabei wurden jeweils 5 % Talkum sowohl in Pulverform als auch als Slurry in den Hobart-Pulper bzw. in einen Heidolph-Rührer eingetragen und darin 5, 15 und 30 Minuten gemischt. Bei diesen Versuchen konnten allerdings keine signifikanten Einflüsse der Art des Eintrags, der Mischdauer oder des Mischaggregats ermittelt werden. Für alle weiteren Versuche erfolgte daher der Einsatz der Mineralien unter folgenden Randbedingungen:

- Mineralieneintrag von 5 % im Hobart-Pulper bei 15 % Stoffdichte während einer Zerfaserungsdauer von 5 Minuten,
- nachfolgend eine Minute Homogenisierung bei 2,5 % Stoffdichte mit Heidolph-Rührer (1.300 min^{-1}).

Die hohe Dosiermenge der Mineralien (5 %) wurde mit Absicht gewählt, um eintretende Effekte besser sichtbar machen zu können.

Der kationisierte Zellstoff wurde der Suspension nach Herstellerempfehlung bei 2,5 % Stoffdichte in einer Dosierung von 0,4 % zugegeben und mit einem Heidolph-Rührer bei 1.300 min^{-1} homogenisiert. Die Reaktionszeit betrug insgesamt 60 Minuten.

Abbildung 57 stellt die Ablagerungsergebnisse relativierend gegenüber. Zur besseren Vergleichbarkeit sind alle Versuchsergebnisse auf den ohne Additivzusatz getesteten Nullpunkt bezogen. Die 100 % Marke spiegelt das Niveau des Blindwerts wieder (siehe Tabelle 24).

Der Absolutwert der Makro-Stickyfläche lag für den Nullpunkt (ohne Additivzugabe) bei rund $13.700 \text{ mm}^2/\text{kg}$. Durch den Einsatz von Talkum verringerten sich die Makro-Stickyflächen unwesentlich auf etwa $12.500 \text{ mm}^2/\text{kg}$ bei allen drei Talkumsorten. Prozentual betrug die Verringerung der Makro-Stickyfläche maximal 10 % und lag damit noch im Streubereich der Makro-Stickyanalytik. Da aber alle drei Talkumversuche zu einer Abnahme der Makro-Stickybeladung beitrugen, ist davon auszugehen, dass tendenziell die Zugabe von Talkum zur Stickybekämpfung beiträgt.

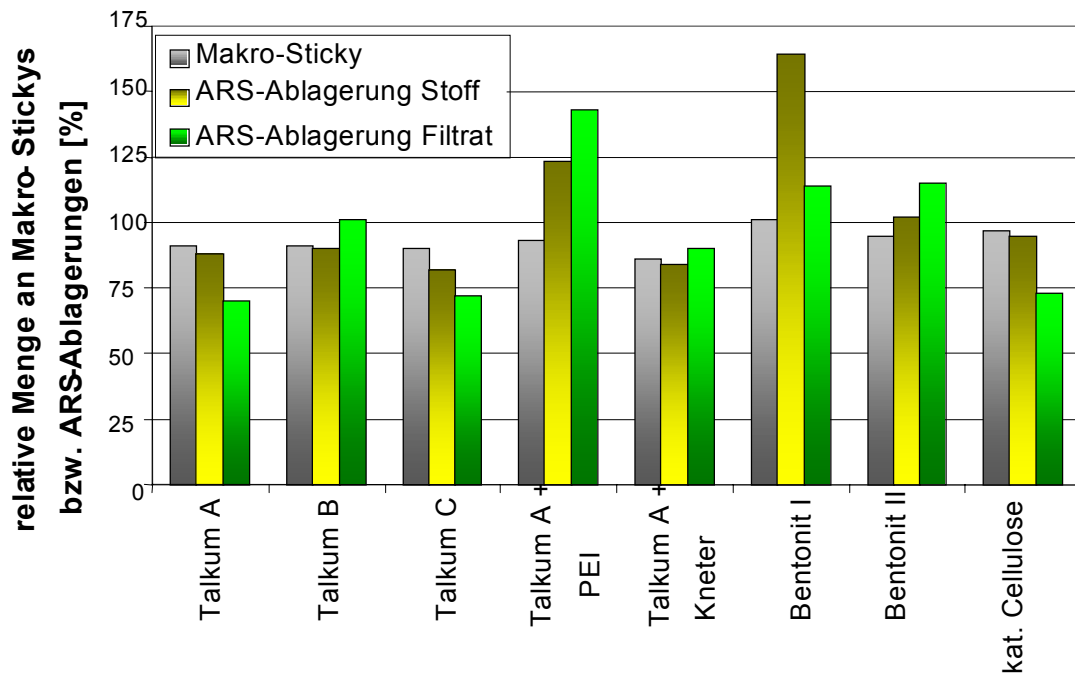


Abbildung 57: Relative Menge von Makro-Stickys und ARS-Ablagerungen nach Anwendung von Mineralien und kationischer Cellulose als Additive (100 % entspricht Vergleichswert ohne Additiv)

Ein entsprechender Trend ließ sich auch für die Ablagerungsneigung bei der ARS-Methode erkennen, wonach die Ablagerungen aus der Stoffsuspension heraus durch den Talkumeinsatz ebenfalls nur um 10 % bis maximal 18 % reduziert wurden. Dagegen wurde die Ablagerungsneigung von Teilchen aus dem Filtrat mit dem Einsatz von Talkum offensichtlich wirkungsvoller bekämpft. Die Verringerung der Ablagerungen betrug ca. 25 % (Talkum A und C).

In zusätzlichen Versuchen wurde der Frage nachgegangen, ob die gleichzeitige Dosierung eines Polyethylenimins (PEI) als Retentionsmittel eine ausgeprägtere Maskierung der klebenden Teilchen durch Talkum bewirken kann oder ob der Einfluss höherer Temperatur und Stoffdichte bei der Dosierung von Talkum Vorteile bietet. Letzteres ist z. B. bei einer industriellen Talkumzugabe im Disperger der Fall und wurde in einem Laborknetter simuliert (70°C, 10 Minuten, 25 % Stoffdichte). Dabei wird davon ausgegangen, dass die thermoplastischen und klebrigen Partikel adhäsivere Eigenschaften entwickeln und Maskierungsmittel sich leichter und verstärkt an deren Oberflächen anlagern können. Abbildung 81 zeigt, dass sich durch die Knetbehandlung das Stickypartikelspektrum deutlich zu kleineren Teilchen hin verschiebt.

Es ist zu erkennen, dass der gemeinsame Eintrag von PEI und Talkum bezüglich der Makro-Stickybeladung keine Veränderungen verursacht, gleichzeitig aber sowohl die Ablagerungsneigung aus dem Faserstoff als auch aus dem Filtrat deutlich zunimmt. Die Verwendung eines Kneters zum Einmischen von Talkum bei höherer Temperatur und Stoffdichte ergab auch keine Reduzierung in der Ablagerungsneigung bzw. der Stickybeladung.

Beide eingesetzten Bentonite führten zu keiner Verringerung der Makro-Stickys und verursachten sogar verstärkt Ablagerungen am Kollektor-Sieb. Die in der Praxis zum Teil beobachtete positive Wirkung im Hinblick auf eine Sticky-Reduzierung konnte hier nicht beobachtet werden.

In einem abschließenden Versuch wurde kationisierte Cellulose als Störstofffänger zur Bekämpfung von Stickys eingesetzt. Die Ergebnisse machen deutlich, dass die kationisierte Cellulose keinen merklichen Einfluss auf die Makro-Stickybeladung und die Ablagerungsneigung aus dem Faserstoff hatte. Bei der Filtratuntersuchung mit der ARS-Methode bewirkte die kationisierte Cellulose allerdings eine geringe Reduzierung der Ablagerungsneigung.

11.1.2 Chemische Hilfsmittel

Zur Bekämpfung von Stickyproblemen an der Papiermaschine kommen neben anorganischen Maskierungsmitteln häufig auch chemische Hilfsmittel zum Einsatz. Sie haben einerseits die Aufgabe, potenziell klebende Teilchen an Fasern zu fixieren und mit dem Papier auszutragen. Ein derartiger Wirkmechanismus sollte sich nicht in der Bestimmung von Makro-Stickys äußern, da nur kleine Teilchen adsorbiert werden können. Allerdings sollte ein derartiger Wirkmechanismus zu weniger Ablagerungen nach der ARS-Methode führen, sowohl aus dem Faserstoff als auch aus dem Filtrat.

Andererseits können chemische Hilfsmittel auch eine Agglomeration von Stickys bewirken. Dies kann zwar bei der Anwendung der ARS-Methode zu einer Verringerung der Anzahl sich ablagernder Partikel führen, muss aber nicht zwangsläufig in eine geringere Ablagerungsmasse münden, da die einzelnen adsorbierten Teilchen mehr Masse aufweisen können. Dagegen könnten agglomerierte Teilchen so groß werden, dass sie durch Sortierung aus dem Faserstoff abgetrennt werden können, was sich in einer Zunahme der Makro-Stickys nach Anzahl und Fläche äußern würde.

Die Dosierung der Chemikalien orientierte sich nach Rücksprache mit den Herstellern an deren Empfehlungen, wobei der Tatsache Rechnung getragen wurde, dass die Versuche mit Frischwasser erfolgten. Aufgrund des offenen Wasserkreislaufs kommt es zu keiner Chemikalienanreicherung, sodass die Dosierungen stets höher eingestellt wurden, als es in der Praxis üblich ist. Von den Chemikalien wurden 10 %ige Stammlösungen angesetzt, die bei 1,25 % Stoffdichte mit einem Heidolph-Rührer (1.300 min^{-1}) eingemischt wurden. Als chemische Hilfsmittel wurden eingesetzt [Dosiermenge]:

- 3 Polyvinylaminprodukte (PVAm-30, PVAm-50, PVAm-90) [1,0 %],
- 2 Polyaminprodukte (PA-1 und PA-2) [1,0 % bzw. 0,2%],
- 1 Polyethyleniminprodukt (PEI) [1,0 %],
- 1 Polyacrylamidprodukt (PAM) [0,2 %],
- 3 Polyaluminiumchloridprodukte (PAC-1, PAC-2, PAC-3) [1,0 %],
- 1 kationisches Mischprodukt aus PAC-2 und PAM (KMP) [1,0 %],
- 2 Poly-DADMAC-Produkte (P-DADMAC-1, P-DADMAC-2) [0,2 %],
- 4 Biodispersgator-Produkte (BD-1, BD-2, BD-3, BD-4) [0,1 %].

Nach einer Reaktionszeit der Chemikalien von fünf Minuten mit dem Altpapierstoff wurde der Probenansatz sowohl für die Bestimmung der Makro-Stickys als auch für die ARS-Ablagerungsversuche eingesetzt.

In Abbildung 58 sind alle Versuchsergebnisse prozentual, d.h. in Relation zum Nullpunkt, wiedergegeben.

Die Resultate machen deutlich, dass durch den Einsatz chemischer Hilfsmittel die Makro-Stickybeladung des Altpapierstoff um maximal 25 % gesenkt werden konnte. Die meisten der eingesetzten Hilfsmittel übten allerdings einen deutlich geringeren Effekt zwischen 5 % und 17 % aus. Dabei blieben die Makro-Stickybeladungen mit mindestens $9.000 \text{ mm}^2/\text{kg}$ nach wie vor auf hohem Niveau. Mit dem Biodispersgator-Produkt BD-4 wurde offensichtlich eine Agglomeration der Stickypartikel erreicht, was zu einem Anstieg der Makro-Stickypartikelfläche führte. Insgesamt muss festgestellt werden, dass der Einsatz von chemischen Hilfsmitteln unter den gewählten Bedingungen zu keiner wesentlichen Entlastung der Makro-Stickyfracht des Altpapierstoffs beitrug.

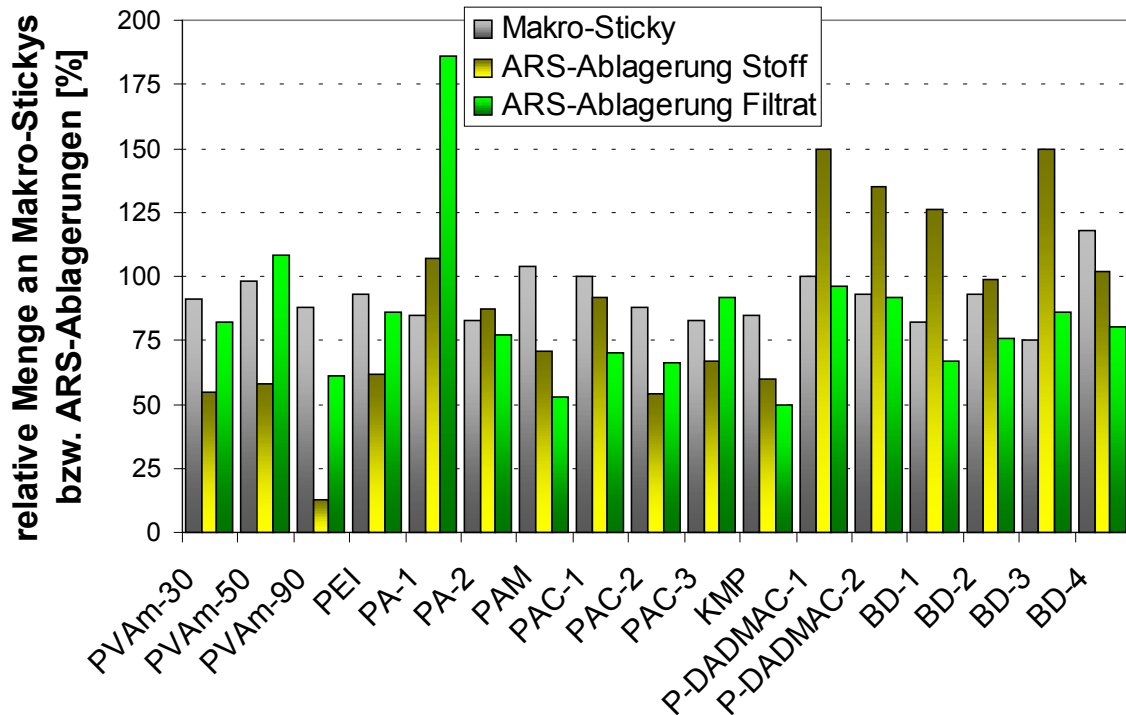


Abbildung 58: Relative Menge von Makro-Stickys und ARS-Ablagerungen nach Einsatz chemischer Hilfsmittel als Additive (100 % entspricht Vergleichswert ohne Additiv)

Differenzierter gestaltet sich die Ergebnislage bezüglich der Ablagerungsneigung der mit chemischen Hilfsmitteln behandelten Stoffe. Die aus der Stoffsuspension stammenden Ablagerungen konnten unter Einsatz von Polyvinylamin (PVAm), Polyethylenimin (PEI), Polyacrylamid (PAM) und von zwei Polyaluminiumchloridprodukten (PAC-2, PAC-3) deutlich gesenkt werden. Die mit Abstand niedrigsten Ablagerungen traten bei Verwendung von Polyvinylamin mit dem höchsten Hydrolysegrad (PVAm-90) auf. Dagegen war bei Verwendung von Polyamin (PA), Poly-DADMAC und den Biodispersgator-Produkten keine Verringerung der Ablagerungsneigung zu erkennen.

Es ist erkennbar, dass der Einsatz der Hilfsmittel fast durchgängig dazu führte, dass sich aus dem Filtrat heraus weniger Masse auf dem Kollektor-Sieb ablagerte. Besonders niedrige Werte wurden mit dem Polyvinylamin mit 90 % Hydrolysegrad (PVAm-90), dem Polyacrylamid (PAM) und dem kationischen Mischprodukt (KMP) aus Polyaluminiumchlorid und Polyacrylamid erzielt. Auffallend war die Verdopplung der Ablagerungen bei Verwendung eines Polyamins (PA-1), das offensichtlich die Agglomerationstendenz der messtechnisch erfassbaren Störstoffpartikel deutlich erhöhte.

11.2 Wirkungsweise von Fixiermitteln

In weiterführenden Versuchen kamen, aufgrund des guten Abschneidens in Kapitel 11.1.2, nur Fixiermittel zum Einsatz, die bevorzugt kolloidale und kolloidal gelöste Störstoffe bekämpfen [7, 97]. Einzelne Parameter dieser Fixiermittel wurden gezielt variiert, um Rückschlüsse über chemische und physikalische Einflussfaktoren zu erlangen.

Um die Wirkungsweise und die Effektivität der Fixiermittel besser beurteilen zu können, wurden die Proben sowohl mit der ARS-Methode als auch mit der Pitch Counter-Methode untersucht. Beide Methoden arbeiten nach unterschiedlichen messtechnischen Prinzipien und sind für die Erfassung kleiner Störstoffpartikel besonders geeignet.

11.2.1 Eingesetzte Fixiermittel

Basierend auf den Untersuchungen aus Kapitel 11.1.2 kamen kationische Fixiermittel zum Einsatz, die aus den gängigen Monomereinheiten für Fixiermittel aufgebaut waren. Im Falle der vier Polyvinylamin-Produkte wurde gezielt Hydrolysegrad, Ladungsdichte und Molmasse variiert. In Tabelle 15 sind die eingesetzten Fixiermittel aufgelistet.

Tabelle 15: Charakterisierung der eingesetzten Fixiermittel

Abkürzung	Monomereinheit	kationische Ladung [meq/g]	gewichtsmittlere Molmasse M_w	Anmerkungen
P-DADMAC	Poly-DADMAC	6	400.000	linear
PA	Polyamin	7	20.000	hochverzweigt
PVAm-1	Polyvinylamin	13	400.000	linear
PVAm-2	teilhydrolysiertes Polyvinylamin	4-5	400.000	linear
PVAm-3	teilhydrolysiertes Polyvinylamin	4-5	400.000	linear, hydrophob modifiziert
PVAm-4	teilhydrolysiertes Polyvinylamin	3	1.500.000	linear
PEI	Polyethylenimin	11	800.000	hochverzweigt, hydrophob modifiziert

11.2.2 Probenvorbereitung

Die Wirksamkeit der Fixiermittel wurde an industriellem Deinkingstoff (siehe Kapitel 11.1) und gestrichenem Ausschuss (Latex B Doppelstrich-Papier, siehe Kapitel 10.2) getestet.

Für die Herstellung der Papierstoffsuspension wurde das Doppelstrich-Papier bei 45°C und 15 % Stoffdichte im Hobart-Pulper 20 Minuten (Deinkingstoff nur fünf Minuten) zerfasert. Die 10 %-igen Stammlösungen der Fixiermittel wurden bei 2,5 % Stoffdichte mit einem Heidolph-Rührer (1.300 min^{-1}) in einer Konzentration von 0,1 % Wirksubstanz eingemischt. Nach einer Reaktionszeit der Chemikalien mit dem Papierstoff von fünf Minuten wurde der Probenansatz eingesetzt.

11.2.3 Ablagerungen gemäß ARS-Methode

Abbildung 59 stellt die Ergebnisse der ARS-Methode für das Doppelstrich-Papier relativierend gegenüber. Zur besseren Vergleichbarkeit sind alle Versuchsergebnisse auf die ohne Chemikalienzusatz bestimmte Ablagerungsmenge (100 %) bezogen.

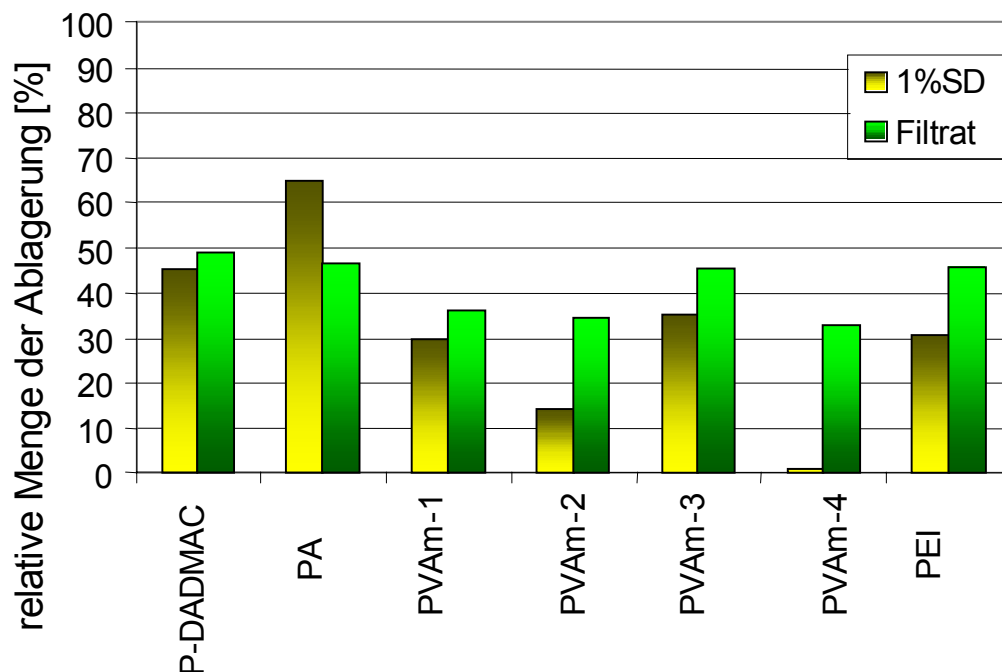


Abbildung 59: Relative Menge der Ablagerung des Doppelstrich-Papiers nach Fixiermittel-zusatz (100 % entspricht Vergleichswert ohne Additiv)

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass alle getesteten Fixiermittel die Ablagerungsmenge verringerten. Bei Filtratuntersuchungen waren die einzelnen Fixiermittel in ihrer Fähigkeit, die Ablagerung von Störstoffpartikeln zu unterbinden, kaum zu unterscheiden. Die Ablagerungsmenge aus dem Filtrat nahm bei allen Versuchen um etwa 60 % ab. Differenzierter gestaltete sich die Ergebnislage bezüglich der Vermeidung von Ablagerungen aus der Stoffsuspension. Am besten schnitten hier die Produkte PVAm-2 und PVAm-4 ab, am schlechtesten die Produkte P-DADMAC und PA.

Die Tatsache, dass im Filtrat keine Differenzierung der Fixiermittelwirkung möglich war, kann wahrscheinlich wieder auf die in Kapitel 10.5.2.2 beschriebenen Effekte zurückgeführt werden. Dort wurde eine ähnliche Ergebnislage bei der Störstoffbekämpfung durch Mineralien gefunden (Kapitel 10.5.2.1). Die Fixiermittel zeigen bei Partikeln kleiner ca. 50 μm ihre beste Wirkung, daher können sie im Filtrat mittels der ARS-Methode nicht sinnvoll differenziert werden. Da die größeren Partikel durch die Fasern bevorzugt wieder abgeschert werden, besteht im Gegensatz zum Filtrat die Ablagerungsmasse aus der Stoffsuspension zu einem größeren Prozentsatz aus kleinen Partikeln. Somit zeigen sich bei Untersuchung der Stoffsuspension Unterschiede in der Effektivität der eingesetzten Fixiermittel.

Durch mikroskopische Untersuchung der gebrauchten Kollektor-Siebe lässt sich die geringere Ablagerungsneigung der Störstoffpartikel bei Fixiermittelzusatz visualisieren (Abbildung 60).

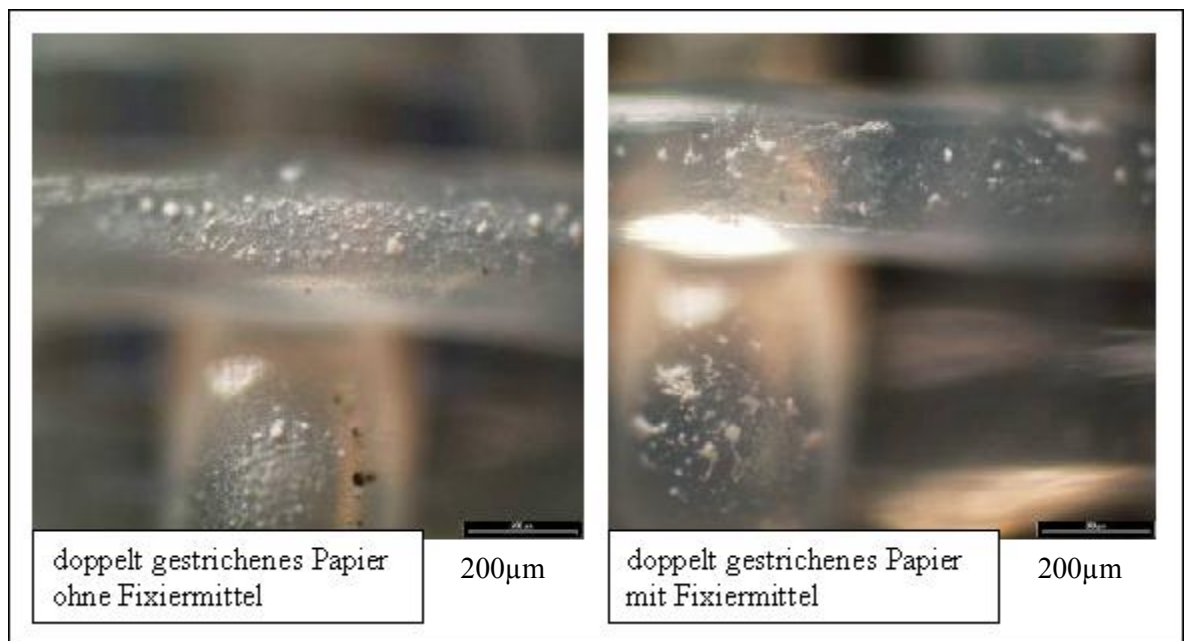


Abbildung 60: Mikroskopie-Aufnahmen benutzter Kollektor-Siebe mit und ohne Fixiermittelzusatz

Die beiden Aufnahmen in Abbildung 60 zeigen jeweils einen Kreuzungspunkt der Siebfäden. Die Störstoffe lagern sich nur auf den 280 μm dicken Siebfäden ab. Im rechten Bild ist eine deutliche Reduzierung der abgelagerten Partikel durch den Einsatz von Fixiermittel zu erkennen.

11.2.4 Hydrophobe Partikel gemäß Pitch Counter-Methode

Eine effektive Fixierung von hydrophoben Partikeln ist dann gegeben, wenn die Anzahl der Partikel abnimmt und gleichzeitig eine Agglomeration zu größeren Partikeln, die dadurch nicht mehr an der Faser fixierbar sind, vermieden werden kann. Verglichen mit dem Null-Wert sollte sich idealerweise die Fläche unter der Kurve der Pitch Counter-Messung verkleinern, die Peakhöhe verringern und die Peakposition konstant bleiben.

In Abbildung 61 sind die Pitch Counter-Kurven der Probe Doppelstrich-Papier mit und ohne Zugabe von Fixiermitteln dargestellt.

Die schwarze Kurve zeigt die Verteilung der Teilchengrößen hydrophober Partikel im Filtrat ohne Fixiermittelbehandlung, die farbigen Kurven mit Fixiermittelbehandlung. Besonders gut schnitten auch hier die Proben PVAm-2 und PVAm-4 ab, relativ schlecht die Proben P-DADMAC und PA. Die genauere mathematische Auswertung der Kurven (Tabelle 16) bestätigte diese Aussage.

Tabelle 16: Auswertung der Pitch Counter-Kurven

Fixiermittel	Fläche	Peakposition	Peakhöhe
0-Wert	26,8	2,2	7,2
P-DADMAC	40,6	8,8	4,0
PA	47,7	11,1	4,1
PVAm-1	20,8	2,2	2,1
PVAm-2	19,6	14,1	1,1
PVAm-3	24,3	13,3	1,5
PVAm-4	14,3	2,2	2,3
PEI	27,4	9,6	1,5

Die bei Zusatz der Fixiermittel PVAm-2 und PVAm-4 erhaltenen Kurven umschlossen die kleinsten Flächen und hatten sehr geringe Peak-Höhen. Dass die Peak-Position beim PVAm-2 deutlich hin zu größeren Partikeln verschoben war, hat aufgrund der äußerst geringen Peak-Höhe keine negativen Auswirkungen. Schlecht schnitten die Produkte P-DADMAC und PA ab, da sowohl die Fläche unter der Kurve stark zunahm als auch die Peak-Position zu größeren Partikeln hin verschoben wurde. Das deutet auf schlechte Fixierung und eine vermehrte Agglomeration von Partikeln hin.

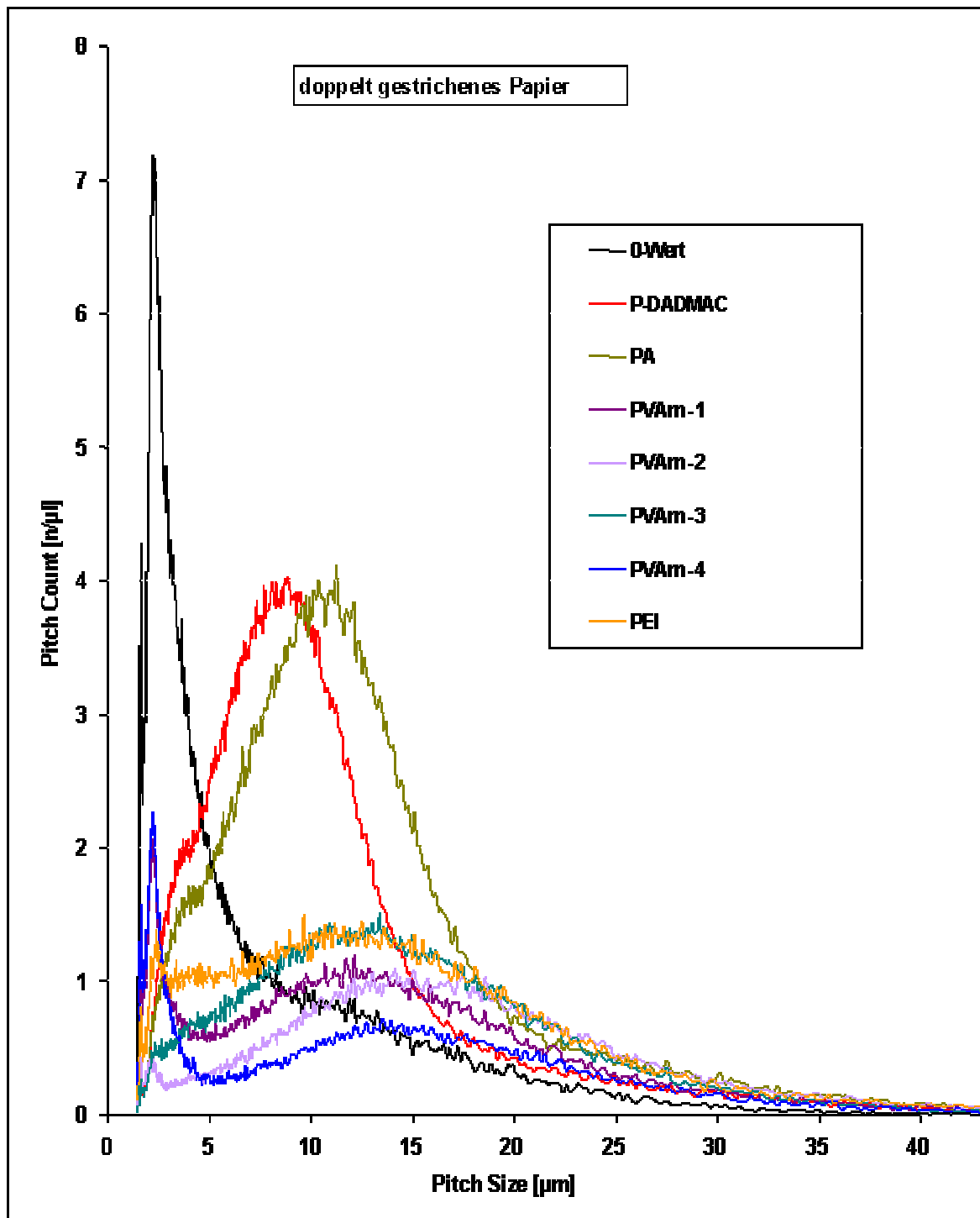


Abbildung 61: Pitch Counter-Kurven der Probe Doppelstrich-Papier mit und ohne Fixiermittelzusatz

11.2.5 Kontaktwinkelmessungen der Fixiermittel

In Tabelle 17 sind die Oberflächenenergien der fünf Tage alten Fixiermittelfilme aufgelistet. Die Oberflächenenergien wurden nach der OWK-Methode ausgewertet.

Tabelle 17: Oberflächenenergien der eingesetzten Fixiermittel

Fixiermittel	Oberflächenenergie	dispenser Anteil	polarer Anteil
Einheit	[mN/m]	[mN/m]	[mN/m]
P-DADMAC	51,7	31,1	20,6
PA	58,9	20,9	38,0
PVAm-1	40,1	37,5	2,6
PVAm-2	63,7	22,5	41,2
PVAm-3	62,8	24,8	38,0
PVAm-4	64,1	17,1	47,0
PEI	42,6	24,0	18,6

Aufgrund der unterschiedlichen Polymerzusammensetzung lagen die Oberflächenenergien zwischen ungefähr 40 mN/m für das PVAm-1 und das PEI und 60 mN/m für die drei anderen PVAm-Typen. Auch das Verhältnis von dispersen und polaren Anteilen variierte stark. Sonderstellungen nahmen auch hier das PVAm-1 mit der niedrigsten und das PVAm-4 mit dem höchsten polaren Anteil ein.

Neben der Oberflächenenergie wurde auch der Kontaktwinkel von Fixiermitteltropfen auf verschiedenen Substraten gemessen, um zum einen den Einfluss der Oberflächenenergie auf das Verhalten in Wasser und auf unpolaren Materialien zu untersuchen. Zum anderen kann über den Kontaktwinkel eine Aussage getroffen werden, welche Materialien durch das Fixiermittel gut benetzbar sind [11]. Ziel des Einsatzes von Fixiermitteln ist es, dass diese auf die Stickyoberfläche aufziehen und das Stickypartikel danach an das Fasermaterial fixieren, damit es mit dem Papier ausgetragen wird. Dazu ist eine gute Benetzung des hydrophoben Störstoffpartikels nötig. Ein wirksames Fixiermittel sollte daher einen möglichst kleinen Kontaktwinkel auf potenziellen Störstoffen und einen möglichst großen Kontaktwinkel in Wasser ausbilden. Dementsprechend wurden als Substrate das Doppelstrich-Papier, das Rohpapier und Wasser ausgewählt. Für die Messung des Kontaktwinkels in Wasser wurde ein Fixiermitteltropfen vorsichtig in einen mit Wasser gefüllten Behälter gegeben. Der Tropfen verweilte dabei für eine längere Zeit an der Luft/Wasser-Grenzfläche, bevor er aufgrund der Schwerkraft auf den Boden des Wasserbehälters sank. Der sich ausbildende Kontaktwinkel des Fixiermittels an der Wasserseite der Grenzfläche Luft/Wasser wurde gemessen.

Abbildung 62 gibt die Kontaktwinkel der Fixiermittel in Wasser und auf den beiden eingesetzten Papieren wieder.

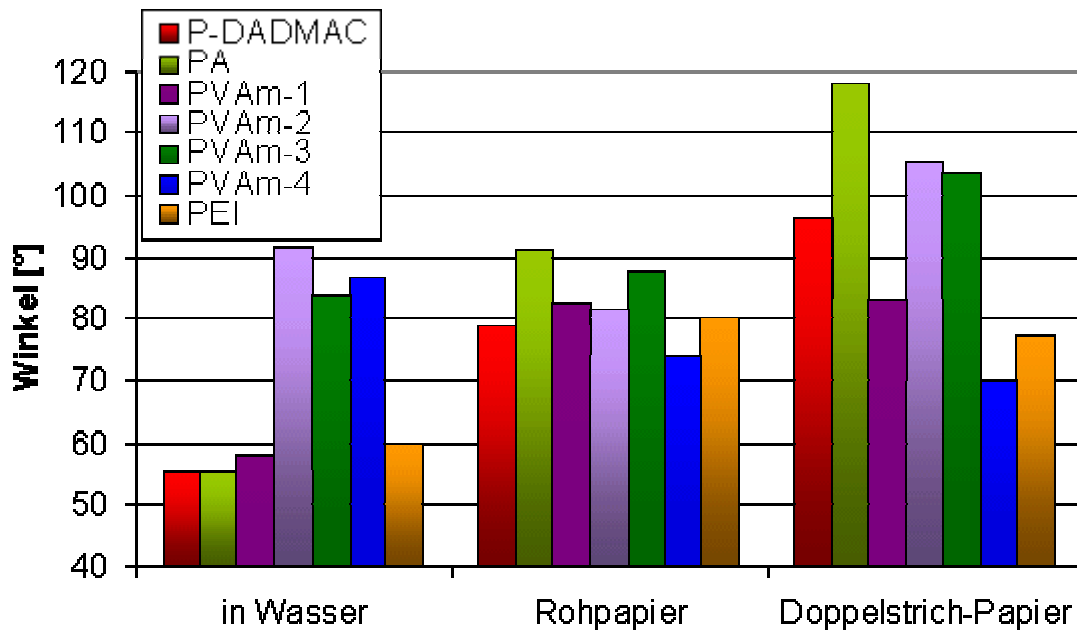


Abbildung 62: Kontaktwinkel der Fixiermittel auf verschiedenen Substraten

Das Ergebnis der Messungen in Wasser kann in zwei Kategorien geteilt werden. Die drei PVAm mit den höchsten Oberflächenenergien (PVAm-2,-3,-4) hatten die größten Kontaktwinkel von über 80°, obwohl deren Oberflächenenergien sehr hohe polare Anteile aufwiesen. Die Kontaktwinkel der restlichen Fixiermittel in Wasser lagen zwischen 55° und 60°. Anscheinend hatte die Aufteilung der Oberflächenenergie in polare und disperse Anteile keinen Einfluss, da sowohl das PVAm-1 mit einem sehr geringen polaren Anteil als auch das PA mit überwiegend polarem Anteil der Oberflächenenergie annähernd gleiche Kontaktwinkel in Wasser ausbildete (Tabelle 17).

Die Kontaktwinkel auf dem Rohpapier waren nicht eindeutig zu differenzieren.

Auf dem Doppelstrich-Papier bildete das PVAm-4 den geringsten Kontaktwinkel aus, gefolgt vom PEI. Das PVAm-1, dessen Oberflächenenergie nur einen sehr geringen polaren Anteil hatte, schnitt auch noch relativ gut ab. Die anderen Fixiermittel waren nicht in der Lage den Papierstrich ausreichend zu benetzen. Auch hier zeigte sich kein eindeutiger Trend in Bezug auf die gemessenen Oberflächenenergien der Fixiermittel.

Daraus folgt, dass das PVAm-4 in der Summe die besten Ergebnisse zeigte. Gekoppelt mit dem hydrophoben Verhalten gegenüber Wasser kann es die potenziellen Störstoffe am besten benetzen. Das unterstreicht die sehr guten Erfolge des PVAm-4 bei der Stickybekämpfung (Abbildung 59 und Abbildung 61).

11.2.6 Mechanismus der Fixierung

Die Ergebnisse der beiden Test-Methoden stimmen gut überein. In Abbildung 63 ist die prozentuale Veränderung der Fläche unter der Pitch Counter-Kurve gegen die prozentuale Veränderung der ARS-Ablagerungen durch Fixiermittelzusatz aufgetragen.

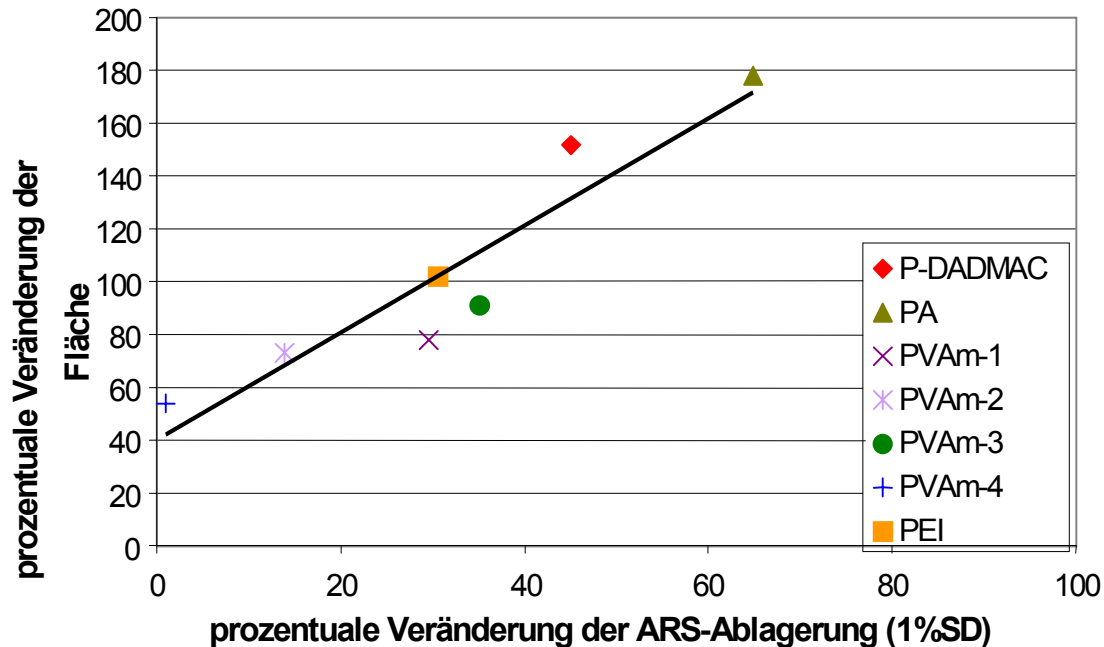


Abbildung 63: Korrelation zwischen Pitch Counter-Kurven und ARS-Ablagerungen nach Fixiermittelzusatz bei Doppelstrich-Papier

Zwischen der Messung hydrophober Partikel mittels der Pitch Counter-Methode und der Ablagerungsmenge gemessen mit der ARS-Methode besteht eine klare Korrelation.

Eine ähnliche Tendenz in der Unterscheidung der Fixiermittel zeigt auch die Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit der Stoffsuspensionen (Abbildung 82). Das PVAm-4 verursachte in den ersten 20 Minuten die schnellste Sedimentation gefolgt von den anderen drei Polyvinylaminen. Das P-DADMAC verringerte die Sedimentationsgeschwindigkeit bezogen auf die reine Stoffsuspension. Bei Zusatz von PA und PEI war kaum eine Auswirkung zu erkennen.

Bei den Untersuchungen zur Wirkung der Fixiermittel an industriellem Deinkingstoff ist die Korrelation zwischen den Ergebnissen der Pitch Counter- und der ARS-Methode weniger ausgeprägt. Das ist wahrscheinlich auf die stark heterogene Zusammensetzung des industriellen Deinkingstoffes zurückzuführen. Es zeichnete sich aber aufgrund der höheren anionischen Störstofffracht der Trend ab, dass bei beiden Untersuchungs-

methoden das PVAm-4 sowie die hoch kationischen Produkte PVAm-1 und PEI am besten abschnitten (siehe Tabelle 25 und Abbildung 83). Messung der Oberflächenladung mittels Polyelektrolyt-Titration ergab für das Filtrat des industriellen Deinkingstoffes, aufgrund der fast geschlossenen Wasserkreisläufe während der Papierproduktion, eine fünffach höhere negative Oberflächenladung im Vergleich zum Filtrat der im Labormaßstab hergestellten Stoffsuspension des gestrichenen Ausschusses.

An den Ergebnissen erkennt man, dass die Polyvinylamine sehr gut störstoffbedingte Probleme unterdrücken können. Die Monomereinheiten sind daher extrem wichtig für den Wirkungsgrad eines Fixiermittels. Wirkungsgrundlage ist zum einen das, im Vergleich zu anderen Prozesschemikalien, hohe Potenzial der Polyvinylamine zur Wasserstoffbrückenbildung. Zum anderen besitzen die primären Aminogruppen eine hohe chemische Reaktivität und können mit Carboxylgruppen Säure-Base Reaktionen eingehen. Die Fixierungswirkung der Störstoffpartikel an die Faser wird dadurch über den reinen Ladungsdichteeffekt hinaus ergänzt /166/.

Die klassische Vorstellung der Störstofffixierung ist angelehnt an die Mechanismen der Retention /67-69, 109/. Bei Polymeren mit niedriger Molmasse und hohen Ladungsdichten bildet sich vorwiegend Mosaikhaftung aus. Hochmolekulare Polymere mit geringer Ladungsdichte versuchen die Störstoffpartikel verbrückend an die Faser zu binden (Brückenbildung). Anhand der vorgestellten Ergebnisse wirken die hochmolekularen, unverzweigten Polyvinylamine mit einer Ladungsdichte von 3–5 meq/g am besten. Die Ergebnislage bei gestrichenem Ausschuss lässt daher auf einen Brückenmechanismus schließen.

Um sich den Mechanismus der Fixierung besser vorstellen zu können, soll ein näherer Blick auf die Größen- und Mengenverhältnisse von Störstoffpartikeln und Fixiermittelpolymeren in der Stoffsuspension geworfen werden. Die Messungen wurden alle bei einer Stoffdichte von 1,0 % und einer Fixiermittelkonzentration von 0,1 Masse-% Wirksubstanz bezogen auf den eingetragenen Papierstoff durchgeführt. Aus den Pitch Counter-Messungen ist bekannt, dass in einem Mikroliter ungefähr 1000 hydrophobe Teilchen im Größenbereich zwischen 2 µm und 40 µm vorhanden sind. Hinzu kommen Teilchen in der Größenordnung von 40 µm bis ca. 80 µm, die eventuell noch mit Fixiermitteln an die Faser gebunden werden können und zusätzlich alle Partikel, die kleiner 2 µm sind. Durch den dünnen, gut zu zerfasernden Papierstrich ist die Anzahl an kolloidalen Störstoffpartikeln wahrscheinlich sehr viel größer, während sie im

Größenbereich zwischen 40 μm und 80 μm ähnlich der Fraktion von 2 μm - 40 μm bei ungefähr 1000 liegen wird. Daraus ergibt sich eine Anzahl an Störstoffteilchen von ca. $1 \cdot 10^4$ pro Mikroliter. In einem Mikroliter stehen dafür bei einer mittleren Molmasse des Fixiermittelpolymers von $1 \cdot 10^6$ ungefähr $1 \cdot 10^9$ Moleküle des Fixiermittels zur Verfügung. Diese Überschlagsrechnung zeigt, dass das Fixiermittel im Überschuss zudosiert wurde, da $1 \cdot 10^5$ Fixiermittelmoleküle pro Störstoffteilchen vorhanden sind. Bei einem kleinen Störstoffpartikel mit einem Durchmesser von 5 μm und einem Knäueldurchmesser des Polymers von ca. 100 nm haben bei einfacher Belegung aber nur etwa $1 \cdot 10^4$ Fixiermittelpolymere auf dem Störstoffpartikel Platz. Es müssen jedoch eine Reihe von Konkurrenzreaktionen berücksichtigt werden, welche die Fixiermittelkonzentration beträchtlich verringern. Dazu gehört die Adsorption der Polymeren an das anionische Fasermaterial oder an Makro-Stickys, die zu groß sind, um langfristig an die Faser fixiert zu werden sowie die Abschirmung der kationischen Ladung durch hohe Salzgehalte.

Unter Berücksichtigung dieser Größen- und Mengenverhältnisse und der Ergebnisse aus Abbildung 59 und Abbildung 61 kann man auf einen Mechanismus schließen, bei dem sich das Polymer mit sehr vielen kleinen „loops“ auf der Störstoffoberfläche entlang schlängelt und bei der Fixierung an der Faseroberfläche mehrere kationische Kontaktpunkte zur Verfügung stellen kann. Abbildung 64 zeigt zuerst den ungünstigeren Fall eines verzweigten Fixiermittelpolymers.

An der unregelmäßigen Oberfläche des Störstoffpartikels kann das sterisch gehinderte Fixiermittelpolymer nur wenige Kontaktstellen finden. Zum einen ist die Verbindung zwischen Faser und Störstoffpartikel daher sehr schwach und zum anderen wird der Störstoff wegen des voluminösen Fixiermittels in größerer Entfernung von der Faser fixiert. Es entsteht ein Komplex, der nicht sehr stabil gegenüber Scherung ist.

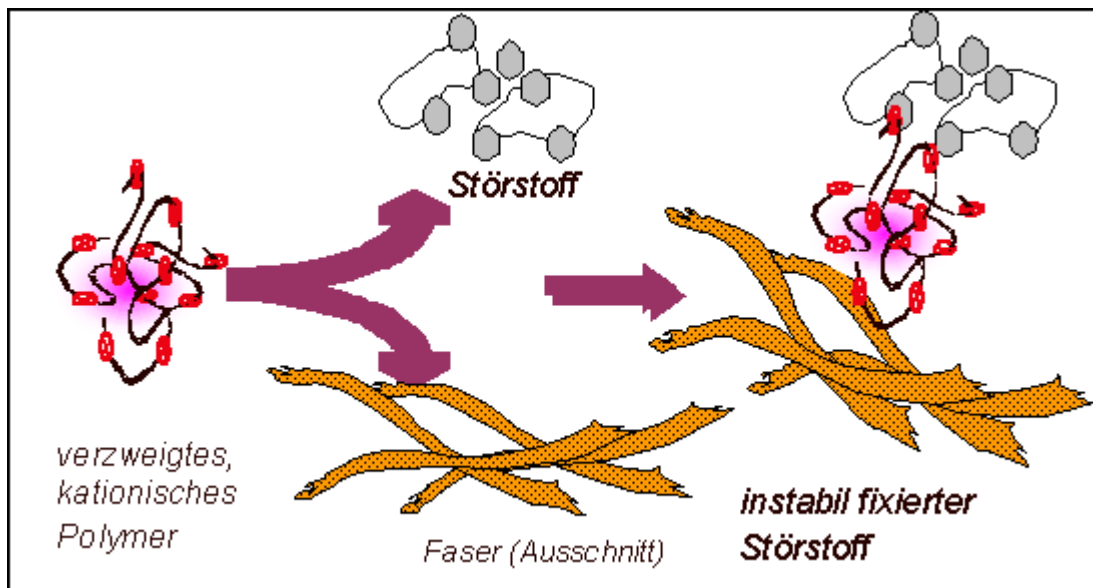


Abbildung 64: Modellvorstellung der Störstofffixierung mit verzweigten Polymeren (nicht maßstäblich)

Abbildung 65 zeigt den vorgeschlagenen Mechanismus der Störstofffixierung durch langkettige, unverzweigte Polymere unter Berücksichtigung der Ladungsverhältnisse.

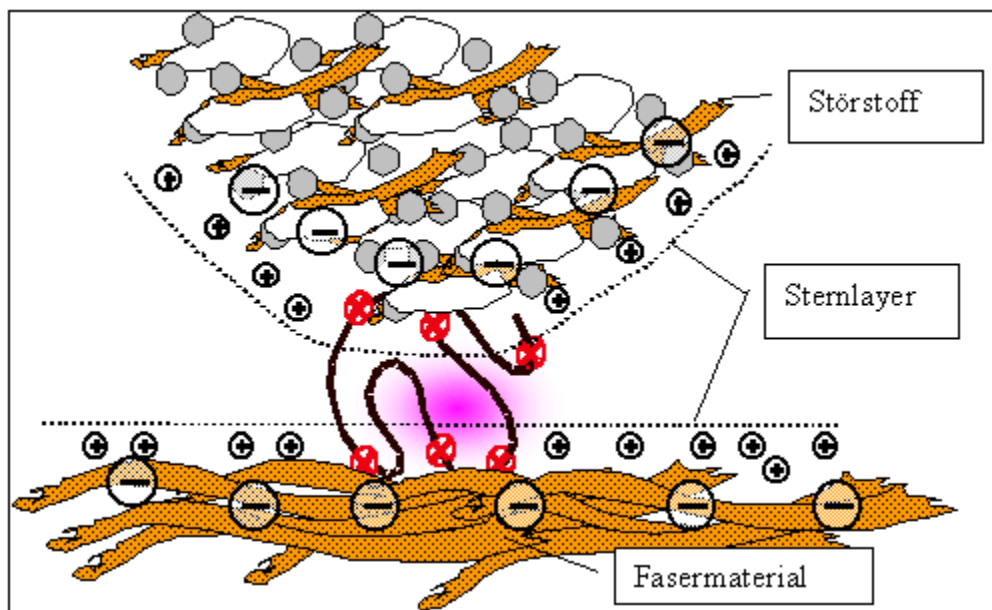


Abbildung 65: Modellvorstellung der Störstofffixierung mit unverzweigten Polymeren (nicht maßstäblich)

Der in Abbildung 65 dargestellte Mechanismus ist angelehnt an die Brückenbildung /67-69/. Die Störstoffpartikel, bei gestrichenem Ausschuss meist eine Mischung aus Strichbinder und Pigment, haben eine unregelmäßige Oberfläche (Kapitel 9.2). Dadurch ist eine lange und sterisch wenig gehinderte Polymerkette von Vorteil, um den Störstoff

langfristig und effektiv an die in diesem Größenausschnitt planare Faser zu fixieren. Zum einen kann sich das lineare Polymer flexibel der Störstoffoberfläche anpassen. Zum anderen sind die Polymerketten lang genug und nur gering geladen, um die elektrischen Doppelschichten von Störstoffpartikel und Faser mit vielen „loops“ zu durchdringen.

Ein eindeutiger Einfluss der Ladungsdichte auf die Wirkung der Fixiermittel konnte nicht festgestellt werden, jedoch muss eine kritische kationische Ladungsdichte vorhanden sein, um die Störstoffpartikel fest an der Faser fixieren zu können /170/.

11.3 Zusammenfassende Betrachtung der Störstoffbekämpfung

Die besten Ergebnisse bei Untersuchungen verschiedener Stickybekämpfungsmittel mit der ARS-Methode wurden mit dem Polyvinylamin 90 % Hydrolysegrad erreicht, bei dem die Ablagerungen aus dem Stoff lediglich noch 13 % und aus dem Filtrat 61 % im Vergleich zum unbehandelten Ausgangszustand betrugen. Bei PAM, PAC-2 und KMP lagen die Reduzierungen der Ablagerungsneigung aus Stoffsuspension und Filtrat in der Größenordnung zwischen 30 % und 50 %. Alle anderen chemischen Hilfsmittel ergaben zumindest an einem der untersuchten Substrate (Stoff oder Filtrat) lediglich geringfügig reduzierte Ablagerungen oder sogar eine Zunahme der Ablagerungsmasse.

Aus der Makro-Stickyanalytik ließen sich keine Empfehlungen für den Einsatz der Chemikalien zur Stickybekämpfung ableiten. Eine Korrelation zwischen den Versuchsergebnissen mit den ARS-Ablagerungen konnte nicht gefunden werden.

Die eingesetzten Talkumsorten zeigten nur geringe Effekte bei der Störstoffbekämpfung von industriellem Altpapierstoff.

Anhand der Messwerte für die Wirkungsweise von Fixiermitteln wurde aufgezeigt, dass es mit der ARS- und der Pitch Counter-Methode möglich ist, die Wirkung von Fixiermitteln zu beurteilen. Eine eindeutige Korrelation zwischen den beiden Methoden wurde bei der Untersuchung von gestrichenem Ausschuss gefunden.

Unter den eingesetzten Fixiermitteln schnitten die Polyvinylamine mit kationischen Ladungsdichten von 3–5 meq/g und höheren Molekulargewichten am besten ab. Dabei stellte sich heraus, dass Molekulargewicht und unverzweigte Struktur der Polymeren einen größeren Einfluss auf die Fixierung haben als die Dichte der kationischen Ladung. Als weniger wirkungsvoll erwiesen sich Fixiermittel auf Basis von P-DADMAC und Polyaminen.

12 Diskussion der Ergebnisse

Bisher wurden die Ergebnisse nach Teilaspekten der Störstoffproblematik unterteilt und getrennt diskutiert. Hier sollen nun die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Resultaten herausgearbeitet werden. Ausgehend vom Störstoffeintrag durch das Altpapier über die Ablagerungsneigung bis hin zur Vermeidung von Ablagerungen sollen die Ergebnisse zu einem Bild zusammengesetzt werden.

Das größte Problem bei der Reduzierung von Störstoffen, die während der Papierfabrikation Schwierigkeiten bereiten, muss gleich zu Beginn dieser Diskussion genannt werden: Es gibt im Augenblick und wahrscheinlich auch in naher Zukunft keine Messmethode, die alle während der Papierherstellung auftretenden Störstoffpartikel quantitativ detektiert. Das liegt formal auch daran, dass der Begriff Störstoff nur durch die Wirkung und nicht durch die chemische Zusammensetzung eines Stoffes definiert ist. Daher muss eine Bestimmungsmethode die Wirkung erfassen, was durch herkömmliche analytische Methoden nicht geleistet werden kann.

Mit den zur Verfügung stehenden Methoden können nur Ausschnitte des Größen- und Eigenschaftsspektrum von Störstoffpartikeln betrachtet werden (Kapitel 7). Zusammengefasst können die Ergebnisse bei sinnvoller Auswahl verschiedener Messmethoden jedoch ein Bild über Art und Menge der Stickys in der untersuchten Probe liefern.

Ausgehend von den bereits im Siebwasserkreislauf der Papiermaschine vorliegenden oder durch die Altpapierverarbeitung neu eingetragenen möglichen Störstoffen soll ein Modell entwickelt werden, das sowohl auf einige Einflussgrößen der Ablagerungsneigung als auch auf die Vermeidung der Ablagerungen eingeht.

Die in dieser Arbeit betrachteten Störstoffe entstehen bei der Zerfaserung von Altpapier. Die Störstoffquellen im Altpapier sind gestrichene Papiere und reine Klebstofffilme, wie sie z. B. in Buchrücken, Klebeetiketten oder Faltschachtelverklebungen vorkommen. Die bei der Zurückgewinnung von Fasermaterial freigesetzten Störstoffpartikel bestehen aus Klebstoff und/oder Strichbinder als Haftvermittler, Füllstoff bzw. Pigment und eventuell abgebautem Fasermaterial. Die genaue Zusammensetzung hängt stark von den eingetragenen Substanzen, der Art der Klebstoffapplikation und den Zerfaserungsbedingungen ab (Kapitel 9.2). Daraus ergibt sich, dass die eingetragenen Störstoffpartikel eine unregelmäßig geformte und heterogen zusammengesetzte Oberfläche haben.

IR-Messungen bestätigten die oben getroffenen Aussagen bezüglich der Zusammensetzung der Siebablagerungen (Kapitel 8.2). Dabei konnten auch Konzentrationsunterschiede der Pigmente in den Ablagerungen bei unterschiedlicher Klebstoffapplikation nachgewiesen werden (Kapitel 10.5.5).

Die mikroskopische Untersuchung benutzter Kollektor-Siebe der ARS-Methode ergab, dass die Ablagerungen ausschließlich auf den Siebdrähten zu finden sind und sich die Partikel daher nur aufgrund ihrer Klebrigkeit ablagern. Die unter Prüfbedingungen vorausgesetzte Klebrigkeit eines Partikels stellt die gemeinsame Eigenschaft aller Störstoffpartikel dar.

Bei näherer Betrachtung des Ablagerungsverhaltens konnten einige Einflussfaktoren auf die Ablagerungsneigung sowohl seitens der Edukte als auch seitens der Prozessbedingungen herausgearbeitet werden. Parameter, welche die Ablagerungsneigung beeinflussen, sind z. B. Gelgehalt und Carboxylierungsgrad der Strichbinder, Tack der Klebstoffe im wässrigen Milieu und die Temperatur der Stoffsuspension (Kapitel 10.5). Diese Ergebnisse sind allerdings zunächst von geringem direkten Nutzen für die Papierfabrikation, da Klebstoffe und Strichbinder nach den Anforderungen des Gebrauchs entwickelt werden und weniger nach den Kriterien für eine gute Recyclierbarkeit.

Ein überraschender Effekt wurde bei unterschiedlicher Pigmentzusammensetzung im Papierstrich beobachtet. Nach vertiefenden Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass Kaolin Eigenschaften eines Stickybekämpfungsmittels besitzt. Ein Vergleich der chemischen Zusammensetzung und der Morphologie des Kaolins mit Talkum, das schon seit längerem als maskierendes Mineral in der Praxis eingesetzt wird, zeigte die Ähnlichkeiten der beiden Schichtsilikate (Abbildung 34). Der Einsatz von morphologisch unterschiedlichen Kaolinen zeigte, dass sich sekundäre Kaoline besser zur Stickybekämpfung eignen als primäre Kaoline. Dafür gibt es zwei Gründe: die geringere anionische Ladungsdichte und die geringere Anisotropie (kleinerer Aspect Ratio) bei sekundären Kaolinen. Die Untersuchung einer weiteren Talkumsorte mit geringerer Lamellarität und Ladung bestätigte die beiden Aussagen.

Kombiniert man nun die vorhandenen Zerfaserungsprodukte mit dem Anforderungsprofil der Mineralien, so lässt dies auf folgenden Mechanismus schließen: Die Mineralien lagern sich aufgrund ihrer hydrophoben Flächen an den anionischen, hydrophoben Störstoffpartikel an. Bei geringer anionischer Ladungsdichte der Mineralien überwiegt

der Energiegewinn durch die Aneinanderlagerung der beiden hydrophoben Partikel. Der Vorteil des geringen Aspect Ratios kann auf die unregelmäßige Oberfläche der Störstoffe zurückgeführt werden. Kompakte Partikel passen sich besser den Unebenheiten der Oberfläche an und bilden dadurch ein scherstabileres Produkt mit einem geringeren hydrodynamischen Volumen als stark plättchenförmige Partikel (Abbildung 44). Dies gilt besonders für kleine Störstoffteilchen ($< 50 \mu\text{m}$), die aufgrund ihrer Agglomerationsneigung bei Anreicherung im Kreislaufwasser schwerwiegende Probleme hervorrufen.

Für den Fixiermitteleinsatz zur Bekämpfung der zumeist anionischen Störstoffpartikel konnte bei ähnlicher Versuchsplanung ebenfalls das gute Abschneiden einer Produktklasse erklärt werden.

Nach dem Einsatz unterschiedlicher Substanzklassen, die für die Stickybekämpfung genutzt werden, zeigte sich, dass kationische Fixiermittel auf Basis hochmolekularer Polymere am besten abschneiden (Kapitel 11.1). Fixiermittel werden eingesetzt, um die Agglomeration kleiner Stickys zu verhindern und diese stattdessen an der Faser zu fixieren. Dadurch werden die Stickys mit der Papierbahn aus dem System ausgetragen.

In weiterführenden Versuchen zeigten bei gestrichenem Ausschuss besonders unverzweigte Polyvinylamine die größte Wirkung. Die Erklärung dafür ist in Abbildung 65 dargestellt. Im Gegensatz zu hochverzweigten und sterisch gehinderten Polymeren, die bei der Fixierung ihr komplettes Volumen zwischen Störstoff und Faser bringen müssen, können lineare Fixiermittel den Störstoff näher an die Faser binden. Das liegt an ihrer linearen und mit vielen Freiheitsgraden ausgestatteten Polymerkette, die sich effektiver an die unregelmäßige Oberfläche anpassen kann. Sie müssen ein relativ hohes Molekulargewicht mit geringer Ladungsdichte aufweisen, um die elektrischen Doppelschichten von Störstoffpartikel und Fasermaterial möglichst häufig verbrückend zu durchdringen. Dadurch ist gewährleistet, dass das Fixiermittel viele Kontaktstellen an beiden Oberflächen bildet. Eine Überschlagsrechnung zeigte, dass das Fixiermittel im Überschuss zudosiert wurde, da pro Störstoffteilchen ca. $1 \cdot 10^5$ Fixiermittelmoleküle zur Verfügung standen. Dabei sind jedoch keine Konkurrenzreaktionen mit der Faser oder anderen anionischen Bestandteilen berücksichtigt. Dadurch entsteht ein dauerhafter Komplex mit einer scherstabilen Fixierung des Störstoffpartikels an die Faser, so dass der Störstoff mit dem Papier ausgetragen werden kann.

13 Experimenteller Teil

13.1 Oberflächenladung durch Polyelektrolyt-Titration

Die Oberflächenladung wird durch eine Rücktitration bestimmt. Man lässt auf die Probe ein Poly-Kation einwirken und titriert mit einer Lösung eines Poly-Anions die von der Probe nicht verbrauchte Menge an Poly-Kation zurück. Hierzu wird eine 0,5 % ige wässrige Suspension der Probe hergestellt. Dann werden der Probe unter Rühren auf dem Magnetrührer genau 30 ml einer 1 mM wässrigen Poly-DADMAC-Lösung mit dem Dosimaten zudosiert. Genauso verfährt man bei jeder Analyse mit einer Blindprobe (250 ml destilliertes Wasser und 30 ml Poly-DADMAC-Lösung in einem Erlenmeyerkolben ohne Probeninhalt). Eine Stunde lang werden die Proben in den verschlossenen Erlenmeyerkolben gerührt. Es werden genau 10 ml abpipettiert und in den Teflon-Kolben des PCD überführt, wo diese mit 1 mM KPVS-Lösung bis zum Ladungsneutralitätspunkt titriert werden. Die Dosiergeschwindigkeit betrug 250 mmol/min.

Die durch die anionischen Gruppen adsorbierte Menge an Poly-DADMAC-Ladungen errechnet sich aus der Differenz der in der Blindprobe einerseits und der im Probenüberstand andererseits ermittelten Menge an Poly-DADMAC-Ladungen.

13.2 Pyrolyse-GC/MS Messung

13.2.1 Probenpräparation

Für die Pyrolyse-Gaschromatographie/Massenspektroskopie-Messung (Pyr-GC/MS) wurden die benutzten Siebe in Isopropanol gelegt und das Ablösen der Ablagerungen nach vier Tagen durch leichtes Kratzen mit einem Spatel unterstützt. Das Isopropanol wurde abgezogen und die Probe mehrere Tage im Trockenschrank getrocknet.

13.2.2 Verwendete Pyrolyse-GC/MS-Parameter

Pyrolysator (CPP 40, Fa. Fischer / GSG):

- Legierung: Fecralloy
- Temperatur: 600°C
- Trägergas: Helium
- Probenmenge: 100 µg
- Spülzeit: 5 s

- Pyrolysezeit: 10 s

Gaschromatograph (GC 6890, Agilent Technologies):

- Trägergas: Helium
- Kapillarsäule: DB 5-MS (30 m, 0,32 mm ID, 25 μm)
- Inlet: 250°C, splitless
- Säulenfluss: 0,9 ml/min
- Temperatur: 50°C (5 min) auf 280°C (5°C/min), 280°C (2 min)

Massenspektrometer (MSD 5973, Agilent Tech.):

- Ionisierung: EI (70 eV), 200°C, $1,5 \cdot 10^{-5}$ Torr

Detektion: Photomultiplier

Auswertung: HP CHEM Station Software MSD Productivity (REV.B.01.00)

HP Mass Spectral Library, Nov. 1998 (REV.D.01.00)

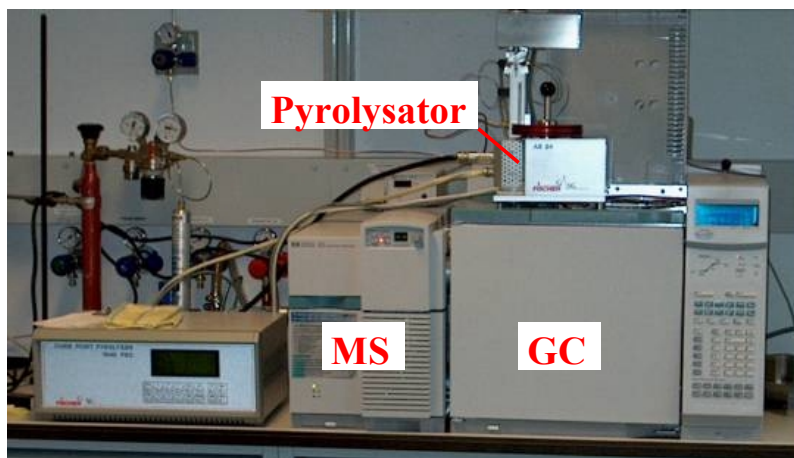


Abbildung 66: Frontansicht des Pyr-GC/MS-Systems

13.3 NIR-Messung

Das verwendete NIR-Spektrometer Vektor 22/N der Bruker-Optik GmbH besteht aus einem Grundgerät mit Strahlungsquelle und Interferometer sowie einem daran gekoppelten Integrationskugelmodul mit diffus reflektierender Goldbeschichtung und einem nach oben offenen Messfenster von 2,5 cm Durchmesser und PbS-Detektor. Der Detektor arbeitet in einem Bereich von 12.000 bis 3.500 cm^{-1} .

Aufgenommen wurden die Spektren in Wellenzahlen mit einer Auflösung von sechs Wellenzahlen in einem Bereich von 10.000 bis 3.500 cm^{-1} (1.000 bis 2.850 nm). Als

spektrale Referenz diente die innere Beschichtung der Integrationskugel. Angezeigt und gespeichert wurden die Spektren in scheinbarer Absorbanz (Apparent Absorbance) als Logarithmus des reziproken Reflexionsgrades.

Das Spektrometer befand sich während der Messungen unter dem Einfluss des Raumklimas. Die spektroskopische Vermessung der Siebe und Papierproben wurde unter Verwendung des Integrationsmoduls in diffuser Reflexion pro Probe je zweimal von beiden Seiten vorgenommen. Aus diesen Einzelspektren wurde je ein Mittelwertspektrum gebildet. Damit wurde eine Fläche von ca. 6 cm^2 je Sieb erfasst.

13.4 IR-Messung

Für die Untersuchungen wurde ein Spektrometer FT-IR 1764 von Perkin-Elmer eingesetzt. Die Proben wurden nach dem Aufbringen auf KRS5-Platten (Zusammensetzung: TlBr_3 , TlI_3 , CaF_2 und Quarz) in Transmission vermessen.

Die Siebe mit den Ablagerungen können im mittleren Infrarot nicht direkt gemessen werden. Ein probater Weg ist die Extraktion mit Lösungsmitteln. Für die zu untersuchenden Substanzklassen (Strichbinder und Klebstoffe) eignen sich am besten Dichlormethan (DCM) und n-Hexan. Die Extraktion erfolgte mit den beiden Lösungsmitteln an den getrockneten Einsatzstoffen (Kleber, Strichbinder und Papier) und wegen der geringen Ablagerungsmengen an den kompletten Kollektor-Sieben. Die Extrakte wurden anschließend auf KRS5-Platten aufgetropft und das Lösungsmittel verdampft. Von den so vorbereiteten Proben wurden IR-Spektren in Transmission aufgenommen.

13.5 Stickybewertungsmethoden

13.5.1 INGEDE-Methode 4

Bei der INGEDE-Methode 4 handelt es sich um eine Makro-Stickybestimmungsmethode auf Basis einer Laborsortierung. Sie unterteilt sich in die Teilschritte Sortierung, Probenaufbereitung und Bildanalytische Messung.

Zur Abtrennung von Makro-Stickys wird ausschließlich der Haindl-Fraktionator mit einer $100 \text{ }\mu\text{m}$ Schlitzplatte eingesetzt. Die Sortierung der Stoffsuspension erfolgt mithilfe einer Schlitzplatte zur Gewinnung eines Rückstands, der idealerweise ausschließlich oder zum größten Teil aus Stickys besteht. Diese Forderung lässt sich in Abhängigkeit von der stofflichen Zusammensetzung des zu sortierenden Altpapierstoffs nur bedingt erfüllen, da

neben Stippen, Splintern und Faserbündeln auch nichtklebende Verunreinigungen aussortiert werden.

Die Hubfrequenz der unter der Schlitzplatte angeordneten Membran beträgt 480 Doppelhübe pro Minute und es wird mit einer Suspensionsvorlage von jeweils 50 g otro gearbeitet. Der Waschwasser-Volumenstrom beträgt während der gesamten Sortierzeit 10 Liter pro Minute. Nach einem kontinuierlichen fünfminütigen Stoffeintrag von 50 g wird der Deinkingstoff fünf Minuten weitersortiert, bevor der Vorgang beendet wird.

Der Sortierrückstand wird in ein Liter Wasser gespült und dann verlustfrei in den Rapid-Köthen-Blattbildner überführt. Dadurch entsteht ein bildanalytisch optimal auswertbares Präparat, auf dem die zurückgehaltenen Makro-Stickys ohne Überlagerungen auf dem Papierfilter verteilt sind. Nach der Entwässerung des Rückstands wird das Präparat mit der Unterseite (rückstandsfreie Seite) auf einen Gautschkarton gelegt, mit der beschichteten Seite eines silikonisierten Papiers abgedeckt und zehn Minuten im Blattbildungstrockner getrocknet. Das silikonisierte Papier muss eine sehr hohe Trennkraft aufweisen, damit eine verlustfreie Abtrennung des Deckblatts nach dem Trocknungsvorgang erfolgen kann und damit alle Komponenten des Rückstands auf dem Filterpapier verbleiben.

Durch die Trocknung der klebrigen, thermoplastischen Rückstandskomponenten in einem Blattbildungstrockner bei 94 °C unter Vakuum und bei einem Druck von 95 kPa werden die Stickypartikel weitestgehend flachgedrückt, so dass sie bildanalytisch gut auswertbar sind.

Im Anschluss an die Trocknung werden die Stickys unter Ausnutzung ihrer adhäsiven Eigenschaften visualisiert, um den für die Bildanalyse notwendigen Kontrast zum Präparat-Hintergrund zu schaffen. Hierzu wird das Präparat in ein Bad mit schwarzer wasserbasierender Tinte getaucht, erneut unter Abdeckung des bereits verwendeten Silikonpapiers 10 Minuten im Blattbildungstrockner getrocknet und danach vollflächig mit weißem Korundpulver bestreut. Die nachfolgende Trocknung erfolgt für 10 Minuten bei 105°C im Trockenschrank, wobei das Präparat zwischen zwei Metallplatten von 28 cm Durchmesser und jeweils sechs kg Gewicht getrocknet wird, so dass eine Fixierung des Korundpulvers an den klebenden Stellen erfolgen kann. Das überschüssige Pulver wird vertikal abgepinselt und danach das Präparat visuell unter Verwendung eines Stereomikroskops begutachtet. Nichtklebende weiße hydrophobe Verunreinigungen auf

dem Präparat werden entweder mit einem wasserfesten Stift schwarz gefärbt oder mit einer Pinzette eliminiert.

Die mit weißem Pulver markierten Stickyflächen können nun mithilfe eines scannerbasierenden Bildanalysesystems Dot Counter 3.0 vermessen werden. Die untere Messgrenze wird der Schlitzweite der bei der Sortierung verwendeten Schlitzplatte (100 μm) angepasst. Die restlichen Klassengrenzen werden als kreisflächengleicher Durchmesser wie folgt festgelegt:

(100 μm –199 μm), (200 μm –399 μm), (400 μm –599 μm), (600 μm –999 μm), (1.000 μm –1.999 μm), (2.000 μm –2.999 μm), (3.000 μm –9.999 μm), (10.000 μm –19.999 μm) und $> 20.000 \mu\text{m}$.

Das Messergebnis wird in mm^2 Stickyfläche pro kg (otro) Sortiereintrag angegeben und errechnet sich aus dem Mittelwert von mindestens drei Einzelmessungen.

In Erweiterung dieser Makro-Stickybestimmungsmethode wird auch der Sortierdurchgang in gleicher Weise analysiert, der definitionsgemäß die Mikro-Stickys enthält. Bildanalytisch erfasst werden allerdings nur die Teilchen, deren flächengleicher Kreisdurchmesser mindestens 100 μm beträgt. Das Messverfahren zur Bestimmung der Mikro-Stickys sieht dabei folgende Arbeitsschritte vor:

- Sortierung von 50 g otro Feststoff für fünf Minuten,
- Auffangen des vollständigen Akzepts der Laborsortierung, Homogenisierung der hochverdünnten Suspension,
- Entnahme von 10 Suspensionsproben mit je 200 mg otro Feststoff,
- Entwässerung der Proben über einem Papierfilter mittels Blattbildner, Abdeckung der Präparate mit Silikonpapier und anschließende Trocknung in der Trocknungseinheit des Blattbildners (entsprechend Rejektaufbereitung),
- Visualisierung der klebenden Flächen mit schwarzer Tinte und weißem Korundpulver entsprechend INGEDE-Methode 4,
- Bildanalytische Messung der weißen Flächen,
- Anfärben des Korundpulvers auf den weißen Flächen mit schwarzem Stift,
- Erneute bildanalytische Messung der Präparate,
- Ergebnis wird durch Differenzbildung beider Messergebnisse ermittelt.

Durch Differenzbildung werden Messfehler eliminiert, die bei der bildanalytischen Erfassung kleinerer Stickys vor allem durch Artefakte, wie Staub auf der Scannerglasplatte oder nicht entfernte Korundkörner auf dem Präparathintergrund, entstehen können.

13.5.2 ARS-Methode

Aus einem 5-Schaft-Polyestersieb werden Streifen der Abmessung 5 * 45 cm geschnitten und kurz mit deionisiertem Wasser von Staub und Verunreinigungen gereinigt. Der Streifen wird bei 105°C zur Massekonstanz getrocknet, gewogen und über ein Rad-Drahtgestell (Abbildung 11) gespannt, das zu einem Drittel in die entsprechende Papierstoffsuspension eintaucht und über eine Welle mit Antrieb zum Rotieren (15 min^{-1}) gebracht wird. Als Gefäß dient ein halbrunder Metallbehälter, der über einen beheizbaren Magnetrührer ($T = 45^\circ\text{C}$, 55°C oder 65°C , 300 min^{-1}) temperiert sowie gerührt wird. Eine Heißluft-Trocknungshaube mit Fön wird zur Lufterhitzung über das Raddrahtgeflecht gestülpt. Durch die Trocknungshaube, die für einen gleichbleibenden Abstand zum Sieb und mittels Diffusorblechen für eine gleichmäßige Verteilung des Luftstroms (90°C) sorgt, sind die Trocknungsbedingungen reproduzierbar.

Für die Herstellung der Stoffsuspension aus Papier werden 150 g Papier (otro) eingewogen und mit 550 ml Wasser im Hobart-Pulper (Abbildung 67) vorgelegt. Als Zerkleinerungsaggregat wird der Hobart-Pulper benutzt, weil die Zerkleinerungsbedingungen und die daraus resultierenden Sticky-Partikelspektren, besonders bei geringen Stoffmengen, einer industriellen Anlage sehr ähnlich sind [171]. Während der ersten fünf Minuten der Zerkleinerung wird der Papierstoff mit 300 ml Wasser aufgefüllt. Nach 20 Minuten ist die Zerkleinerung beendet und die Stoffsuspension kann mit Wasser auf 1,0 % Stoffdichte verdünnt werden.

Von der zu untersuchenden Probe werden 0,8 Liter in den halbrunden Metallbehälter gefüllt und auf die gewünschte Temperatur erhitzt. Die Messungen sind sowohl mit einem Filtrat, das durch Filtration der Stoffsuspension über ein $150 \mu\text{m}$ Sieb erzeugt wird, möglich als auch mit einer 1,0 Masse-% Stoffsuspension. Die Expositionszeit beträgt zwei Stunden. Das Sieb wird anschließend mit destilliertem Wasser abgespült, bei 105°C im Trockenschrank getrocknet und die Gewichtszunahme bestimmt. Die Menge an adsorbiertem Material wird in mg Ablagerung angegeben.



Abbildung 67: Hobart-Pulper

13.5.3 FAC-Methode

Das FAC-Adsorptionsverfahren weist einen zwangsweisen Durchgang der Stoffsuspension durch einen Walzenspalt auf. Dadurch wird ein unmittelbarer Kontakt der Suspensionsbestandteile mit dem Adsorbens im Walzenspalt erzwungen. Daraus leitet sich der Begriff der erzwungenen Adsorption (Forced Adsorption Contact = FAC) ab. Abbildung 68 zeigt den schematischen Aufbau des FAC-Analysators.

Der Analysator besteht aus einem Walzenpaar mit einer beheizten Metallwalze und einer gummierten Andruckwalze. Auf die gummierte Walze wird als Adsorbens eine Polyethylenterephthalat-Folie aufgezogen. Die beiden Walzen werden mit definiertem Druck aneinander gepresst. Im Walzenspalt erfolgt aufgrund der thermischen Randbedingungen und der Oberflächeneigenschaften der Folie die Anlagerung der Stickys an das Adsorbens (Folie). Unter den Walzen befindet sich ein beheizter Vorratsbehälter, in dem die zu untersuchende Stoffsuspension vorgelegt wird. Mit einer Pumpe wird ein Teil der Stoffsuspension in den Walzenspalt gepumpt und durch die Drehbewegung der Walzen durch den Walzenspalt gefördert. Die Metallwalze ist an der Oberfläche leicht geriffelt, um den Stoffeintrag in den Walzenspalt zu unterstützen. Nachdem die Suspension den Walzenspalt passiert hat, wird sie durch Kunststoffschaber von beiden Walzen abgeschabt und fällt zurück in den darunter liegenden Vorratsbehälter. Um die abgelagerten Stickys nicht wieder abzuscheren, liegt der Schaber an der gummierten Walze nicht an. Die Schaberwirkung ergibt sich dadurch, dass Faserstoff zwischen Schaber und Walze angelagert wird.

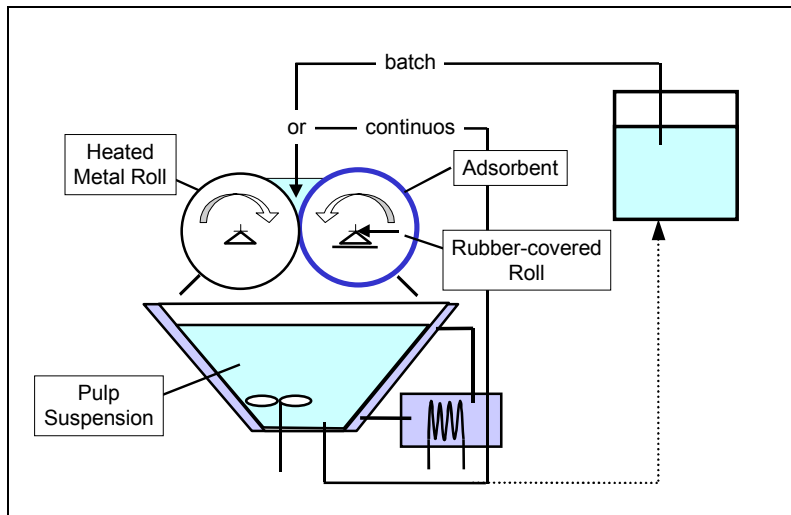


Abbildung 68: Schema des FAC-Analysators /100/

Folgende FAC-Versuchsrandbedingungen wurden konstant gehalten:

3 % SD, 45°C Temperatur, 18 Minuten Prüfdauer je Folie und 2 bar Anpressdruck.

13.6 Messung der papiertechnologischen Eigenschaften

13.6.1 Messung der Rohdichte

Die Rohdichte und Dicke des Papiers wurde nach DIN EN 20 534 bestimmt.

13.6.2 Messung der mechanischen Eigenschaften

Die Bruchkraft und die daraus errechnete Reißlänge, der Bruchwiderstand und die Bruchdehnung wurden nach DIN 53 112 Teil 1 bestimmt.

Die Weiterreißarbeit nach Brecht-Imset wurde nach DIN 53 115 bestimmt.

Der Berstdruck wurde nach DIN ISO 2758 bestimmt.

13.6.3 Messung der optischen Eigenschaften

Der Weißgrad wurde nach Tappi bei einer Wellenlänge von $\lambda = 457 \text{ nm}$ bestimmt.

Die Opazität wurde nach DIN 53 146 bestimmt.

14 Zusammenfassung

Für alle Altpapier verarbeitenden Unternehmen der Papierindustrie stellen klebende Verunreinigungen im Altpapier, sogenannte Stickys, das größte Störpotenzial bei der Papierherstellung dar. Stickys sind die Ursache für Schwierigkeiten durch Ablagerungen, Abrisse der Papierbahn oder Störstellen im Papier und verursachen Kosten in Form von längeren Stillstandszeiten, höherem Reinigungsaufwand und größeren Papierausschussmengen. Hinzu kommen Probleme durch Stickys bei der Weiterverarbeitung der erzeugten Papiere. Hauptquellen von Stickys sind gestrichene Papiere, Faltschachtelverklebungen und Klebstoffapplikationen auf Papiererzeugnissen.

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen Beitrag zum Verständnis der Stickybildung zu leisten, die Grenzen und Möglichkeiten der Stickyquantifizierung aufzuzeigen und verschiedene Bekämpfungsmaßnahmen zu bewerten. Im Rahmen dieser Arbeit war es erforderlich, einige vergleichende Untersuchungen mit relevanten Stickybestimmungsmethoden durchzuführen, um objektiv entscheiden zu können, welche Methoden sinnvolle Ergebnisse liefern und bei welchen Arbeitsschritten sie berücksichtigt werden müssen.

Derzeit gibt es keine Absolutmethode für die quantitative Bestimmung von Stickys. Da bei allen bekannten Methoden nur messtechnisch bedingte Ausschnitte der Stoffprobe untersucht werden, kann nicht immer eine vollständige Korrelation erwartet werden. Das gilt besonders für Methoden, die Stickys nicht definitionskonform bewerten, deren Ergebnisse jedoch von großem praktischem Interesse sein können. In verschiedenen Vergleichen konnten die Ergebnisse der ARS-Methode zu einem gewissen Grad durch die Sortiermethode INGEDE 4 und die Pitch Counter-Methode bestätigt werden, so dass eine Ergebniskontrolle zum Teil möglich war.

Die Bedingungen der Stickyuntersuchungen mit der ARS-Methode wurden genauer untersucht, um die erlangten Ergebnisse besser interpretieren zu können.

Zur Untersuchung wesentlicher Parameter für Bildung und Ablagerung von Stickys wurden an Modellstoffen mögliche Einflussfaktoren variiert und das Ablagerungsverhalten bewertet. Die Bestandteile der Ablagerungen wurden mithilfe von NIR- und IR-Spektroskopie analysiert.

Es ist dadurch gelungen, einige Einflussfaktoren herauszuarbeiten:

- Je höher die Temperatur während der Ablagerungsuntersuchung, desto mehr Ablagerungen treten auf.
- Der Einfluss der Glasübergangstemperatur auf die Ablagerungsneigung kann nicht exakt vorhergesagt werden.
- Hochcarboxylierte und hochvernetzte Binder besitzen eine geringere Ablagerungsneigung.
- Kaoline verringern die Klebrigkeit von Störstoffpartikeln.
- Der Aspect Ratio und die negative Ladungsdichte maskierender Mineralien sollte möglichst gering sein.
- Es besteht eine direkte Korrelation zwischen dem Tack der im wässrigen Milieu gemessenen Klebstoffapplikationen und der Ablagerungsneigung.
- Neben den Klebstoffen als Haftvermittler bestehen die Ablagerungen hauptsächlich aus Füllstoffen bzw. Pigmenten. Haftklebstoffe zeigen dabei eine besondere Affinität zu Füllstoffen bzw. Pigmenten.
- Die Schichtdicke von Klebstoffapplikationen hat keinen einheitlichen Einfluss auf das Ablagerungsverhalten.

Daraus folgt, dass die Ablagerungsmenge eine Funktion von vielen Einflussfaktoren ist, deren genauer Zusammenhang von den Bedingungen in der Papiermaschine und der Zusammensetzung des untersuchten Systems abhängt.

Nachfolgend wurde die Wirkung von Mineralien, kationisierter Cellulose und chemischen Hilfsmitteln, welche die Bildung von Ablagerungen verringern sollen, geprüft. Die besten Ergebnisse beim Einsatz verschiedener Stickybekämpfungsmittel wurden mit Polyvinylaminprodukten erreicht. Auch Polyacryamide und Polyaluminiumchloride reduzierten die Ablagerungsneigung aus Stoffsuspension und Filtrat. Alle anderen chemischen Hilfsmittel ergaben zumindest an einem der untersuchten Substrate (Stoffsuspension oder Filtrat) nur geringfügig reduzierte Ablagerungen oder sogar eine Zunahme der Ablagerungsmasse.

Aufgrund des guten Abschneidens der chemischen Hilfsmittel bei der Stickybekämpfung wurden die dieser Kategorie angehörenden Fixiermittel näher untersucht. Es konnte aufgezeigt werden, dass es mit der ARS- und der Pitch Counter-Methode möglich ist die Wirkung von Fixiermitteln zu beurteilen. Eine eindeutige Korrelation zwischen den

beiden Methoden wurde bei der Untersuchung von gestrichenem Ausschuss gefunden. Unter den eingesetzten Fixiermitteln schnitten die Polyvinylamine mit kationischen Ladungsdichten von 3–5 meq/g und höheren Molekulargewichten am besten ab. Dabei hat sich herausgestellt, dass Molekulargewicht und unverzweigte Struktur der Polymeren einen größeren Einfluss auf die Fixierung haben als die Dichte der kationischen Ladung. Als weniger wirkungsvoll haben sich P-DADMAC und Polyamin-Produkte herausgestellt.

15 Literatur

- 1 Söffge, M.: Wet-End Chemistry, Einleitung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation (2003) Nr. 1/2, S. 28-31
- 2 Möbius, C.H.: Die Störstoffkonzentration als begrenzender Wert für die Verringerung der spezifischen Frischwassermenge in Papierfabriken. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1984) Nr. 16, S. 559-562
- 3 Friberg, T.: Cost impact of stickies. In: Progress in Paper Recycling November(1996) Nr. 5, S. 70-72
- 4 Putz, H.-J.: Stickies in recycled fiber pulp. In: Götsching, L. (Hrsg): Recycled Fiber and Deinking. Helsinki: Fapet Oy, 2000, Chapter 11
- 5 Fogarty, T. J.: Cost-effective, common sense approach to stickies control. In: TAPPI Journal 3(1993) Nr. 76, S. 161-167
- 6 Faul, A.: Stickies Terminology - The Zellcheming Approach. In: Progress in Paper Recycling February(2002) Nr. 11, S. 66-69
- 7 Putz, H.-J. ; Hamann, A.: Methodenvergleich zur Bestimmung von Stickys. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 131(2003) Nr. 5, S. 218-225
- 8 Doshi, M.: What is the difference between primary and secondary stickies? In: Progress in Paper Recycling November(1997) S. 84-85
- 9 Onusseit, H.: Physikalisch-chemische Eigenschaften von Klebstofffilmen und deren Relevanz im Papierrecyclingprozess. In: Blechschmidt, J.: Klebende Verunreinigungen bei der Aufbereitung von Altpapier für die Papiererzeugung. (München 2000). München : PTS, 2000, S. 3-1 - 3-20
- 10 Onnusseit, H.: Entwicklungstendenzen in der Klebstoffindustrie. In: Blechschmidt, J.: PTS-Symposium Stickies. (München 1999). München : PTS, 1999, S. 4-2 - 4-6
- 11 Shetty, C.S. ; Greer, C.S. ; Laubach, G.D.: A likely mechanism for pitch deposition control. In: TAPPI Journal 10(1994) Nr. 77, S. 91-96
- 12 De Bruyne, N.A. ; Houwink, R.: Klebtechnik, die Adhäsion in Theorie und Praxis. Stuttgart: Berliner Union, 1957
- 13 Scholz, W. ; Tse, J.: What is adhesion and why do adhesives stick? In: Doshi, M. (Hrsg): Paper Recycling Challenge. Appleton, WI: Doshi & Associates, 1997, S. 7-8
- 14 Dyer, J.: What is the effect of pH and temperature on stickies tackiness. In: Progress in Paper Recycling November(1998) S. 69-74

- 15 Feast, A.A.J.: Synthetic Latices. In: Calvert (Hrsg): Polymer latices and their applications. London: Applied Science Publishers, 1982, S. 21-46
- 16 Strauß, J.: Die Rolle von Klebstoffen und Strichbindern beim Stickyproblem. In: Blechschmidt, J.: Bekämpfung und Vermeidung von Stickys sichert den wirtschaftlichen Altpapiereinsatz. (Heidenau 2002). München : PTS, 2002
- 17 Lovell, P.A. ; El-Aasser, M.S.: Emulsion polymerization and emulsion polymers. (Hrsg): Chichester, GB: Wiley and Sons, 1997
- 18 McBain, C. D.: Fundamentals of emulsion polymerization: Binders for coated paper and paperboard. (Hrsg): Coating materials: Pigments, Binders and Additives; Short course. Norfolk, VA: TAPPI Press, 1998, S. 255-271
- 19 Klun, R. T.: Fundamentals of Latex technology. In: TAPPI: Coating Binders Seminar. (1988). TAPPI Press, 1988
- 20 Distler, D.: Wäßrige Polymerdispersionen. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 1999
- 21 Lohmüller, G. ; Lucchini, P. ; Reimers, O.: Einfluss von Bindereigenschaften und Prozessparametern auf die Vermeidung von "White Pitch"-Ablagerungen. In: 20. PTS Streicherei-Symposium. (München 2001). München : PTS, 2001, S. 10/11-19
- 22 Ackermann, Ch. ; Putz, H.-J. ; Götsching, L.: Herkunft und Gehalt klebender Verunreinigung im graphischen Altpapier. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 11/12(1996) S. 508-516
- 23 Bergh, N.-O.: A review of starches and binders used in papermaking and coating. In: Baker, C. (Hrsg): The fundamentals of papermaking materials. PIRA International, 1997, S. 139-207
- 24 Cathie, K. ; Haydock, R. ; Dias, I.: Understanding the fundamental factors influencing stickies formation and deposition. In: Pulp and paper Canada 12(1992) Nr. 93, S. T392 - T395
- 25 LeRoux, R. ; Armstrong, J.R. ; Lin, J.F. ; Polverari, M.S. ; Pruszyński, P.E. ; Angelac, A.P.: Stickies control in newsprint application - Review, mechanisms and novel approach. In: 81st CPPA Annual Meeting. (1995). 1995, S. A243-A252
- 26 Ling, T.F.: Modifying surface properties of sticky materials through polymer-/surfactant adsorption. In: Pulp and Paper Canada 10(1993) Nr. 94, S. T 273 - T279
- 27 Mix, K. ; Tolle, M. ; Weigl, J.: Grundlegende Untersuchungen über klebende Verunreinigungen im wiederverwendeten Altpapier. Teil II; Arten und Ursachen von Störungen. In: Allgemeine Papierrundschau 9(1985) Nr. 109, S. 208-216

- 28 Baumgarten, D. ; Naydowski, C.: Störstoffe vom Rohstoff bis zum Vorfluter. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 14(1990) S. 635-638
- 29 Hentzschel, P.: Laborstudie zur Simulation und Unterdrückung von Polymer-Aggregaten (white pitch) bei der Wiederverarbeitung gestrichener Ausschußpapiere. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 15(1991) S. 569-575
- 30 Laufmann, M. ; Hummel, W.: Neutrale holzhaltige Papierherstellung 1990. In: Wochenblatt für Papierfabrikation (1991) Nr. 8, S. 269-293
- 31 Berben, S.: Sticky detective work. In: Progress in Paper Recycling 5(1992) S. 66-69
- 32 Olson, C.R. ; Letscher, M.K.: Increasing the use of secondary fibre: an overview of deinking chemistry and stickie control. In: Appita Journal 2(1992) Nr. 45, S.125-130
- 33 Doshi, M.: Quantification, control and retention of depositable stickies. In: Progress in Paper Recycling November(1992) S. 45-48
- 34 Roick, T. ; Schempp, W. ; Schmitt, G.: Störstoffe in Holzschliffiltraten: Identifizierung, Veränderung im Verlauf der Bleiche, analytische Beurteilung der Wirkung von Bekämpfungsmitteln. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 12(1994) S. 506-509
- 35 Mönch, D. ; Stange, A. ; Linhart, F.: Fortschrittliche Produktkonzepte zur Störstoffentlastung und Effizienzsteigerung bei der Papierherstellung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 20(1996) S. 889-895
- 36 Andersen, S. L.: The outer limits of paper recovery and recycling. In: TAPPI Journal 4(1997) Nr. 80, S. 59-62
- 37 Lascar, A. ; Thomassin, D. ; Fejoz, R.: Entfernung von Störstoffen bei der Altpapierstoffaufbereitung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1997) Nr.11/12, S. 536-541
- 38 Hsu, N.-C.: Stickies - the importance of their chemical and physical properties. In: Progress in Paper Recycling November(1996) S. 63-65
- 39 Carre, B. ; Brun, J. ; Galland, G.: Secondary Stickies: Definition, Formation mechanism and Characterization. In: Doshi, M. (Hrsg): Paper Recycling Challenge - Stickies. (Appleton, WI). Doshi & Associates, 1997, S. 57-65
- 40 Doshi, M.: Properties and control of stickies. In: Doshi, M.: Paper Recycling Challenge - Stickies. (Appleton, WI 1997). Doshi & Associates, 1997, S. 227-235
- 41 Doshi, M.: Overview-Stickies. In: Doshi, M. (Hrsg): Paper Recycling Challenge - Stickies. (Appleton, WI). Doshi & Associates, 1997, S. 3-6

- 42 Pikulin, M. A.: Stickies and their impact on recycled fiber content fine papers. In: Doshi, M. (Hrsg): Paper Recycling Challenge - Stickies. (Appleton, WI 1997). Doshi & Associates, 1997, S. 89-92
- 43 Abraham, S.: Stickies - PIRA International Research Program. In: Doshi, M. (Hrsg): Paper Recycling Challenge. (Appleton, WI). Doshi & Associates, 1997, S. 22 - 27
- 44 Abubakr, S. ; Bormett, D. ; Sykes, M. ; Klungness, J. ; Peng, J. ; Fatah, A. ; Vidich, C. ; Thoma, L.: Stickies: Problems and solutions. In: Doshi, M.: Paper Recycling Challenge - Stickies. (Appleton, WI 1997). Doshi & Associates, 1997, S. 40-44
- 45 Gustafson, F. ; Resler, P.: Recycling behavior of microsphere adhesives. In: TAPPI Recycling Symposium. (Washington D.C. 2000). TAPPI Press, 2000, S. 621-630
- 46 Weigl, J. ; Kästner, M.: Untersuchung der Verschmutzung von Naßfilzen bei der Papierherstellung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1982) Nr. 16, S. 559-566
- 47 Auhorn, W. ; Degen, H.-J. ; Linhart, F. ; Lorz, R.: Störstoffe-neue Aspekte ihres Wirkungsverhalten, neue Problemlösungen für die Praxis. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 9(1988) S. 329-336
- 48 Leppänen, A.: Views on recyclability. In: TAPPI Recycling Symposium. (Washington D.C. 2000). TAPPI Press, 2000, S. 385-390
- 49 Klein, R.: Ablagerungsverhalten potenziell klebender Stoffe bei der Papierherstellung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(2000) Nr. 8, S. 516-523
- 50 Schalin, O. ; Palsanen, J.: Harz- und Latexschwierigkeiten in der Rohpapierherstellung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1981) Nr. 11/12, S. 407-409
- 51 Feigenbaum, H.N.: The characterization and treatment of white pitch from paper recycling operations. In: TAPPI: Papermakers Conference. (1991). TAPPI Press, 1991, S. 591-593
- 52 Gruber, E. ; Großmann, K.: Charakterisierung von feindispersen Stickies aus Altpapier. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1998) Nr.13, S.645-651
- 53 Esterbauer, H. ; Hönig, H. ; Stark, H.: Methoden zur Analyse von klebenden Ablagerungen in Altpapier verarbeitenden Betrieben. In: Allgemeine Papier-rundschau9(1984) Nr. 108, S. 210-220
- 54 Douek, M. ; Gou, X.-Y.: An overview of the chemical nature of deposits/stickies in mills using recycled fibre. In: TAPPI: Recycling Symposium. (Atlanta 1997). TAPPI Press, 1997, S. 313 – 330

- 55 Hsu, N.-C. ; Schroeck, J.J. ; Errigo, L.: Identification of the origins of stickies in deinked pulp. In: TAPPI Journal 4(1997) Nr. 80, S. 63-68
- 56 Strauß, J. ; Großmann, H.: Kreislaufwasserreinigung unter besonderer Berücksichtigung der Entfernung klebender Verunreinigungen. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1997) Nr. 9, S. 468-472
- 57 Smith, S. E.: Stickies properties and the relationship to their removal. In: Doshi, M.: Paper Recycling Challenge. (Appleton, WI). Doshi&Associates, 1997, S. 237-239
- 58 Auhorn, W. ; Melzer, J.: Untersuchungen von Störsubstanzen in geschlossenen Kreislaufsystemen. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1997) Nr. 13, S. 493-502
- 59 Wagberg, L. ; Ödberg, L.: Polymer adsorption on cellulosic fibres. In: Nordic Pulp and Paper Research Journal(1989) Nr. 2, S. 135-140
- 60 Großmann, K. ; Krause, T.: Untersuchungen zum Einfluß von Carboxylgruppen bei der Adsorption von kationischen Polymeren an Cellulosefasern. In: Das Papier 1(1990) Nr. 44, S. 1-4
- 61 Römpp Lexikon Chemie. 10 Ed. Stuttgart ; New York: G. Tieme Verlag, 1996
- 62 Hummel, W.J. ; Moore, D.O.: Physikalische Chemie. 4. Ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1973
- 63 Dörfler, H.-D.: Grenzflächen- und Kolloidchemie. Weinheim: VCH-Verlag, 1994
- 64 Prof. Schuster, Internetseite: www.fh-meschede.de/public/schuster/schlamm.htm. FH Südwestfalen, Sept. 2003
- 65 Gruber, E. ; Großmann, K. ; Schempp, W.: Wechselwirkungen von synthetischen kationischen Polymeren mit Fasern und Füllstoffen, Teil 1. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 1(1996) S. 4-11
- 66 Gruber, E. ; Großmann, K. ; Schempp, W.: Wechselwirkungen von synthetischen kationischen Polymeren mit Fasern und Füllstoffen, Teil 2. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 3(1996) S. 102-105
- 67 Adamsky, F. ; Simon, G. ; Gibbon, D. ; Williams, R.: Retention mechanisms using dual polymer approach. In: Tappi Proceedings Papermaking Conference. (1991). TAPPI Press, 1991, S. 469-479
- 68 Hubbe, M.A.: How do retention aids work? In: TAPPI Proceedings Papermakers Conference. (1988). TAPPI Press, 1988, S. 389-396
- 69 Kannengießer, D. ; Tresch, R.: Die Aufgaben von Retentionsmitteln und Stoffentlüftern bei Blattbildung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1994) Nr7, S.243-249

- 70 Girifalco, L.A. ; Good, R.J.: A theory for the estimation of surface and interfacial energies. 1. Derivation and application to interfacial tension. In: Journal of physical chemistry(1957) Nr. 61, S. 904-909
- 71 Giles, C.H. ; MacEwan, T.H. ; Nakhwa, S.N. ; Smith, D.: Studies in Adsorption Part XI. In: Journal of chemical society London(1960) S. 3973-3993
- 72 Fowkes, F.M.: Additivity of intermolecular forces at interfaces. I. Determination of the contribution to surface and interfacial tensions of dispersion forces in various liquids. In: Journal of physical chemistry(1963) Nr. 67, S. 2538-2541
- 73 Lucassen-Reynders, E.H.: Contact angles and adsorption on solids. In: Journal of physical chemistry(1963) Nr. 67, S. 969-972
- 74 Fowkes, F.M.: Attractive forces at interaces. In: Industrial and engineering chemistry 12(1964) Nr. 56, S. 40-52
- 75 Davis, B.W.: Estimation of surface free energies of polymeric materials. In: Journal of colloid and interface science 3(1977) Nr. 59, S. 420-428
- 76 Janczuk, B. ; Bialopiotrowicz, T. ; Wojcik, W.: The components of surface tension of liquids and their usefulness in determinations of surface free energy of solids. In: Colloid and Interface Science(1989) Nr. 127, S. 59-66
- 77 Janczuk, B. ; Bialopiotrowicz, T.: Surface free-energy components of liquids and low energy solids and contact angles. In: Colloid and Interface Science(1989) Nr. 127, S. 189-204
- 78 Erbil, H.Y.: Surface tension of polymers. In: Birdi, K.S. (Hrsg): Handbook of surface and colloid chemistry. New York: CRC Press, 1997, S. 265-307
- 79 Kamagata, K. ; Saito, T.: The methods of measuring tackiness of pressure sensitive adhesive tapes. In: Journal of adhesion October(1970) Nr. 2, S. 279-291
- 80 Roschy, A. ; Fischer, K. ; Kleemann, S. ; Liebner, F.: Pyrolyse-GC/MS zum Nachweis kationischer Stärke. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 130(2002) Nr. 8, S. 490-494
- 81 Dunlop-Jones, N. ; Allan, L.H.: A rapid method for the qualitative analysis of plastic and "sticky" contaminants by pyrolysis-gas chromatography. In: TAPPI Journal (1988) Nr. 2, S. 109-113
- 82 Schweiss, P.: Sticky issue - evaluation where no standart exits. In: Pulp and Paper Europe June(1997) S. 24-28

- 83 Blanco, A. ; Negro, C. ; Monte, C.: Depositability character of disturbing substances. In: COST Conference, Paper Recyclability. (Gran Canaria). 1998, S. 29-34
- 84 Heise, O. ; Dehm, J. ; Holik, H. ; Schabel, S.: A new stickys test method- statistically sound and user friendly. In: TAPPI Journal 2(1999) Nr. 82, S. 143-151
- 85 Dyer, J.: A summary of stickies quantification methods. In: Progress in Paper Recycling August(1997) S. 44-51
- 86 Lobbes, T. ; Forester, W. K.: The identification of stickies. In: Doshi, M.: Paper Recycling Challenge - Stickies. (Appleton, WI). Doshi&Associates, 1997, S.190-192
- 87 Doshi, M. ; Dyer, J. ; Aziz, S. ; Jackson, K. ; Abubakr, S.: Quantification of micro stickies. In: Progress in Paper Recycling November(1997) S. 80-83
- 88 Doshi, M.: Quantification of stickies. In: Doshi, M.: Paper Recycling Challenge - Stickies. (Appleton, WI 1997). Doshi & Associates, 1997, S. 176-179
- 89 Scholz, W.: Summary of stickies Test methods. In: Doshi, M. R. (Hrsg): Paper Recycling Challenge. Appleton, WI: Doshi & Associates, 1997, S. 67-70
- 90 Sithole, B.B. ; Filion, D. ; Allan, L.H.: A laboratory test to measure deposition in recycled paper making. In: Paper Technology 1(1999) Nr. 40, S. 27-30
- 91 Anglim, P. ; Moore, G. ; Ferguson, L.: Deposition and measurement of sticky particles. In: Pulp and Paper Canada 1(1999) Nr. 100, S. 56-58
- 92 Philippaerts, J.: A new method for measuring pitch and stickies deposition potential. In: IPW (1999) Nr. 4, S. 59-62
- 93 Keller, G. ; Trojna, G.: Laser systems used for sticky measurement. In: ATIP 2(2001) Nr. 56, S. 26-31
- 94 Carre, B. ; Brun, J. ; Fabry, B.: Comparison of two methods to estimate secondary stickies contamination. In: Progress in Paper Recycling November(1995) S. 68-72
- 95 Ling, T.F. ; Hall J.D ; Walker, M.M.: Novel test method for evaluating stickies deposition control. In: Pulp and Paper Canada. 12(1993) Nr. 94, S. 85-89
- 96 Brun, J. ; Delagoutte, T. ; Carre, B.: Test mezhod available at CTP for secondary stickies characterisation. In: Blechschmidt, J.: 2. PTS-Symposium Stickies. (München 1999). München : PTS, 1999, S. 17/11-17/17
- 97 Hamann, A ; Putz, H.-J. ; Gruber, E.: Untersuchungen zur Stickybildung und Stickybekämpfung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 131(2003) Nr. 14-15, S. 883-891

- 98 Gruber, E. ; Pätzold, R. ; Gattermayer, J.: Zur Adsorption fein dispergierter Polymere mit klebendem Potenzial. In: Das Papier(2000) Nr.5, S. T74-T80.
- 99 Gruber, E. ; Pätzold, R. ; Gattermayer, J.: Untersuchungen zur Bildung von Ablagerungen durch mikrodisperse klebende Verunreinigungen und andere Komponenten der Papiermasse. In: Blechschmidt, J.: Klebende Verunreinigungen bei der Aufbereitung von Altpapier für die Papiererzeugung. (München 2000). München : PTS, 2000, S. 02/01-02/10
- 100 Krauthauf, T.: Ablagerungen durch klebende Verunreinigungen bei der Papierherstellung – Eine neue Adsorptionsmethode und Ursachen von Ablagerungen. TU-Graz, Dissertation, 2001
- 101 Esser, A. ; Blum, R. ; Belouadi, C.: A novel approach to avoiding white pitch deposition. In: Pulp and Paper Canada 9(2000) Nr. 101, S. 58-61
- 102 Köhl, T. ; Lorencak, P. ; Gierulski, A. ; Eipel, H. ; Horn, D.: A new laser-optical method for counting colloiddally disperses pitch. In: Nordic Pulp and Paper Research Journal (1994) Nr. 1, S. 29-30
- 103 Esser, A. ; Rübenacker, M. ; Lorz, R. ; Auhorn, W.: Physiochemische Mechanismen bei der Störstoffbehandlung - Möglichkeiten und Grenzen der messtechnischen Erfassung. In: Das Papier (2002) Nr. 1, S. 39-47
- 104 Internetseite: www.ingede.com, Fällung anionischer Inhaltstoffe. INGEDE-Methode 6, Ausgabe 6.99, München, Sept. 2003
- 105 Hanecker, E.: Ablagerungsneigung klebender Verunreinigungen in der Trockenpartie der Papiermaschine und Maßnahmen zur Deaktivierung. In: PTS: Symposium Stickies. (München 2000). München : PTS, 2000, S. 12/11-12/18
- 106 Doshi, M.: Comparison of Microstickies Measurement Methods – Part 1: Sample Preparation and Measurements Methods. In: Progress in Paper Recycling 12(2003) Nr. 4, S. 35-42
- 107 Doshi, M.: Comparison of Macrostickies Measurement Methods. In: Progress in Paper Recycling 12(2003) Nr. 3, S. 34-43
- 108 Gattermayer, J.: Darstellung von kationischen Zellstoffen und Untersuchung der Wirkungsmechanismen bei ihrem Einsatz in der Papierherstellung. Darmstadt, TUD, Institut für Makromolekulare Chemie, Fachgebiet Nachwachsende Rohstoffe, Dissertation, 2001

- 109 Jacobasch, H.-J.: Zu den Einflussfaktoren auf die Anschmutzung von Faserstoffen. In: PTS: Chemisch-technologische Probleme der Papierherstellung. (München 1980). München : PTS, 1980
- 110 Joanicot, M. ; Cabane, B. ; Wong, K.: Structure of latex films. In: TAPPI: Coating Conference. (Minneapolis, Minnesota 1993) TAPPI Press, 1993, S. 175-185
- 111 Chonde, Y. ; Roper, J. ; Salminen, P.: A review of wet coating structure: Pigment/Latex/Cobinder interaction and its impact on rheology and runnability. In: TAPPI: Coating Fundamentals Symposium. TAPPI Press, 1995, S. 57-62
- 112 Ming, Y. ; Takamura, K. ; Davis, H.T. ; Scriven, L.E.: Microstructure evolution in latex coatings. In: TAPPI: Coating Fundamentals Symposium. (Atlanta 1995). TAPPI Press, 1995, S. 27-30
- 113 Ming, Y. ; Takamura, K. ; Davis, H.T. ; Scriven, L.E.: Latex particle behaviour in paper coatings examined by low voltage scanning electron microscopy. In: TAPPI: Coating Conference. (Dallas, Texas). TAPPI Press, 1995, S. 391-395
- 114 Yang, T. ; Salvati, L. ; Nelson, R.J. ; Coffin, E. ; Strang, S.L.: Contact angle, near infrared, and X-ray photoelectron spectroscopy of a water-based Latex coating during film formation. In: TAPPI: Coating Fundamentals Symposium. (1995). TAPPI Press, 1995, S. 51-54
- 115 Rissa, K. ; Vähä-Nissi, M.: Application of atomic force microscopy in pigment and dispersion coating. (Hrsg): Advanced Coating Fundamentals Symposium. Toronto, Canada: TAPPI Press, 1999, S. 175-189
- 116 Gruber, E. ; Pätzold, R. ; Gattermayer, J.: Zur Bildung von Ablagerungen durch mikrodisperse klebende Verunreinigungen und Füll- und Faserstoffe. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(2001) Nr. 20, S. 1326-1333
- 117 Grenz, R. ; Le, P.C. ; Weigl, J. ; Zeilinger, H.: Erkennung und weitgehende Vermeidung von Polymer-Agglomeraten (white pitch) bei der Wiederverarbeitung gestrichener Papiere. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1994) Nr. 7, S. 272-279
- 118 Klein, R. ; Großmann, H.: Adsorption klebender Verunreinigungen an festen Grenzflächen. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1995) Nr. 19, S. 871-876
- 119 Scholz, W.: Pressure sensitive adhesives. In: Progress in Paper Recycling November(1994) Nr. 4, S. 71-73
- 120 Pearson, N. ; Fullick, C.: "Recycling friendly" adhesives - a different approach to the problem of stickies. In: Progress in Paper Recycling August(1997) S. 82-88

- 121 Hayes, P. C.: Styrene-Butadien and Styrene-Acrylic Latices in paper coating applications. Coating Materials: Pigments, Binders and Additives; Short course. Norfolk, VA: TAPPI Press, 1998, S. 329-336
- 122 Hamann, L. ; Blechschmidt, J.: Rezyklierbarkeit von Verpackungsklebebandern. In: Allgemeine Papierrundschau(2000) Nr. 16, S. 372-378
- 123 Lex, M. ; Tamms, O.: Primäre Kaoline - ein breites Einsatzgebiet. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(2002) Nr. 7, S. 420-424
- 124 Tamms, O. ; Weigl, C. ; Burth, D.: Verbesserung der Lauf- und Qualitätseigenschaften bei der Papierherstellung durch Einsatz von grenzflächenmodifiziertem Kaolin. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(2002) Nr. 8, S. 498-503
- 125 Naydowski, C.: Mineralische Stoffe in der Papierveredelung - Ein Rückblick für die Zukunft. In: PTS: Streicherei-Symposium. München : PTS, 2001, S. 2/1-2/14
- 126 Gane, P.A.C.: Mineral pigments for paper. In: Wochenblatt für Papierfabrikation (2001) Nr. 3, S. 110-116
- 127 Williams, G.R.: Physical chemistry of the absorption of talc, clay and other additives on the surface of sticky contaminants. In: TAPPI Proceedings Pulping Conference. (1987). TAPPI Press, 1987, S. 563-571
- 128 Granier, V. ; Sartre, A. ; Joanicot, M.: Adhesion of latex particles on inorganic surfaces. In: TAPPI: Coating Conference. (San Diego, California 1994). TAPPI Press, 1994, S. 1-11
- 129 Husband, J.C.: Interactions between ground calcium carbonate pigments and polymer latices. In: Nordic Pulp and Paper Res. Journal 5(2000) Nr.15, S.382-385
- 130 Biza, P.: Selektive Deaktivierung von Stickies mit ausgewählten Talkumqualitäten. In: Blechschmidt, J.: 2. PTS-Symposium Stickies. (München 1999). München : PTS, 1999, S. 14/11-14/16
- 131 McKinney, R. W. J.: A review of stickie control methods, including the role of surface phenomena in control. In: TAPPI: Pulping Conference. (1989). TAPPI Press, 1989, S. 177-182
- 132 Possart, W. ; Kamusewitz, H.: The thermodynamics and wetting of real surfaces and their relationship to adhesion. In: International Journal of adhesion and adhesives. 2(1993) Nr. 13, S. 77-84
- 133 Becher, P.: Interaction parameter calculations from contact angle data. In: Journal of colloid and interface science 3(1977) Nr. 59, S. 429-432

- 134 Gruber, E.: Charakterisierung von Grenzflächeneigenschaften disperser Systeme. In: PTS Symposium Grenzflächenchemie. München : PTS, 2001, S.3/1-11
- 135 Stein, S. ; Schwinger, K.: Charakterisierung der Grenzflächeneigenschaften von Papieroberflächen mit Hilfe der dynamischen Randwinkelmethode. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 16(1998) S. 725-728
- 136 Hodgson, K. T.: Surface science and process factors affecting removal of sticky contaminants. In: Progress in Paper Recycling February(1997) S. 80-84.
- 137 Ling, T. F.: The effects of surface properties on stickies removal by flotation. In: Pulp and Paper Canada 12(1994) Nr. 95, S. 109-113
- 138 Shen, W. ; Filonanko, Y. ; Truong, Y. ; Parker, I.H. ; Brack, N. ; Pigram, P. ; Liesegang, J.: Contact angle measurement and surface energetics of sized and unsized paper. In: Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects(2000) Nr. 173, S. 117-126
- 139 Ling, T.F.: Agglomeration tendency of contaminants in recycled fibers. In: TAPPI Journal 3(1998) Nr. 81, S. 161-165
- 140 Good, R.J. ; Elbing, E.: Generalization of theory for estimation of interfacial energies. In: Industrial and engineering chemistry 3(1970) Nr. 62, S. 54-78
- 141 Good, R.J.: Surface free energy of solids and liquids: Thermodynamics, molecular forces and structure. In: Journal of colloid and interface science 3(1977) Nr. 59, S. 398-419
- 142 Good, R.J.: Contact angle, wetting, and adhesion: a critical review. In: Journal of adhesion, science and technologie 12(1992) Nr. 6, S. 1269-1302
- 143 Hesse, M. ; Meier, H. ; Zeeh, B.: Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie. 5.Ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 1995
- 144 Hummel, D.O.: Atlas der Kunststoff-Analyse – Band 1: Hochpolymere und Harze. Weinheim: Verlag Chemie GmbH, 1968
- 145 Allan, L.H. ; Filion, D.: A laboratory white pitch deposition test for screening additives. In: TAPPI Journal 2(1996) Nr. 79, S. 226-232
- 146 Möbius, Ch.H.: Ursachen und Bekämpfung von Harzschwierigkeiten. In: Wochenblatt für Papierfabrikation (1978) Nr. 23/24, S. 889-893
- 147 Konopa, J.: Chemically-structured minerals for a new generation of stickies control. In: Pulping Conference. (Montreal, Canada 1998). TAPPI Press, 1998

- 148 Biza, P.: Stickydeaktivierung in Papierfabriken mit Hilfe von Talkum. In: Blechschmidt, J.: Bekämpfung und Vermeidung von Stickys sichert den wirtschaftlichen Altpapiereinsatz. (Heidenau 2002). München : PTS, 2002, S. 11/11-17
- 149 Hanecker, E.: Effektive Stickydeaktivierung mittels chemischer Additive und Mineralien. In: Blechschmidt, J.: Bekämpfung und Vermeidung von Stickys sichert den wirtschaftlichen Altpapiereinsatz. (Heidenau). München : PTS, 2002, S.9/1-10
- 150 Schabel, S. ; Respondek, P.: Sortierung - ein Werkzeug zur Sticky-Entfernung: Grundlagen. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1997) Nr. 16, S. 736-739
- 151 Weigl, J. ; Grenz, R. ; Kästner, M.: Erfassung von Störstoffen mit dem Streaming-Current-Detector und Maßnahmen zur Störstoffverringern. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1990) Nr. 3, S. 109-118
- 152 Kolb, W. ; Heusser, U.: Flußdiagramme für Störstoffe in Deinking-Anlagen. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1986) Nr. 1, S. 1-5
- 153 Schwarz, M.: Stickies - eine Herausforderung für die gesamte Prozeßtechnologie. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 14/15(1997) S. 692-698
- 154 Krauthauf, T. ; Putz, H.-J. ; Götsching, L.: Effects of deinking chemicals on sticky depositions. In: TAPPI Recycling Symposium. (Hyatt City, Washigton D.C. 2000). TAPPI Press, 2000, S. 693-699
- 155 Carre, B. ; Beneventi, D. ; Fabry, B.: Interface mechanisms in deinking processes. In: PTS: PTS Symposium Grenzflächenchemie. (München 2001). München : PTS, 2001, S. 26/21-26/15
- 156 Abraham, S.: Successful approaches in avoiding stickies. In: TAPPI Journal 2(1998) Nr. 81, S. 79-83
- 157 Spedding, J.: Eliminierung und Inhibierung von Stickys im Deinking-Prozess mittels hydrophobierten mineralischen Partikeln. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(2002) Nr. 17, S. 1089-1094
- 158 Möbius, C.H. ; Baumgarten, H. L.: Entfernung gelöster organischer Stoffe aus Papierfabrik-Kreislaufwässern durch Adsorption an füllstoffähnlichen anorganischen Adsorbenzien. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 12(1984) Nr. 11, S. 395-406
- 159 Grenz, R. ; Völkel, H.-G. ; Weigl, J.: Zusatz von Hilfsmitteln zu den Holzkomponenten zur Reduzierung der Störstoff-Frachten in Papiermaschinen-Kreisläufen. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1994) Nr. 23/24, S. 955-960

- 160 Moreland, R. D.: Stickies control by detackification. In: TAPPI: Pulping Conference. (Toronto, Ontario 1986). TAPPI Press, 1986, S. 193-196
- 161 Doshi, M.: Additives to combat sticky contaminants in secondary fibres. In: Contaminant problems and strategies in wastepaper recycling (1989). TAPPI Press, 1989
- 162 Lorz, R. ; Mönch, D. ; Bohlmann, K.: Wirkungsverbesserung von Prozeß-chemikalien in störstoffbelasteten Kreislaufsystemen. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1994) Nr. 22, S. 888-893
- 163 Meixner, H. ; Auhorn, W. ; Gercke, M.: Maßgeschneiderte kationische Polymere für die Fixierung primärer und sekundärer Störstoffe. In: Das Papier(1998) Nr. 10A, S. V36-V41
- 164 Auhorn, W. ; Gercke, M.: Efficient process chemicals in closed water loops. In: Eucepa Symposium, Chemistry in Papermaking. (1998). Eucepa, 1998, S. 225-235
- 165 Rübenacker, M. ; Gercke, M. ; Meixner, H.: Retentions- und Fixiermittelsysteme für den Einsatz in störstoffbelasteten Papiermaschinenkreisläufen. In: Symposium Papierfaserstoff-Technik PTS. (München 1999). München : PTS, 1999, S. 9-1 - 9-10
- 166 Auhorn, W. ; Stange, A.W.: Maßgeschneiderte Leistungsprofile durch die flexible Struktur der Polyvinylamine. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1999) Nr. 8, S. 511-518
- 167 Alince, B.: Cationic latex as a multifunctional papermaking wet-end additive. In: TAPPI Journal 3(1999) Nr. 82, S. 175-187
- 168 Esser, A. ; Rübenacker, M. ; Kuhn, J.: Optimaler Fixiermitteleinsatz zur Steigerung der Produktivität. In: PTS: Chemische Technologie der Papierherstellung. (München 2002). München : PTS, 2002, S. 29/21-29-18
- 169 Menke, L.: Mikro-Stickies - Störenfriede im Wasserkreislauf. In: Wochenblatt für Papierfabrikation(1998) Nr. 5, S. 187-193
- 170 Hamann, A. ; Gruber, E. ; Schädler, V. ; Champ, S. ; Esser, A. ; Kuhn, J.: Effektivität von Fixiermitteln bei der Bekämpfung von klebenden Verunreinigungen. Eingereicht 2003: Wochenblatt für Papierfabrikation
- 171 Ackermann, C. ; Göttching, L.: Evaluation of recyclability of print products with particular consideration of adhesive pulp components (6699 IfP), Evaluation of physical minimum requirements on recycling-friendly adhesives (6800 IfP). Darmstadt, TUD, Institut für Papierfabrikation, gemeinsamer Schlussbericht der INGEDE-Projekte, Dezember 2002

16 Anhang

16.1 Ablagerungsprobleme während der Papierherstellung



Abbildung 69: Sticky-Fleck im Papier (Quelle: PTS, München)

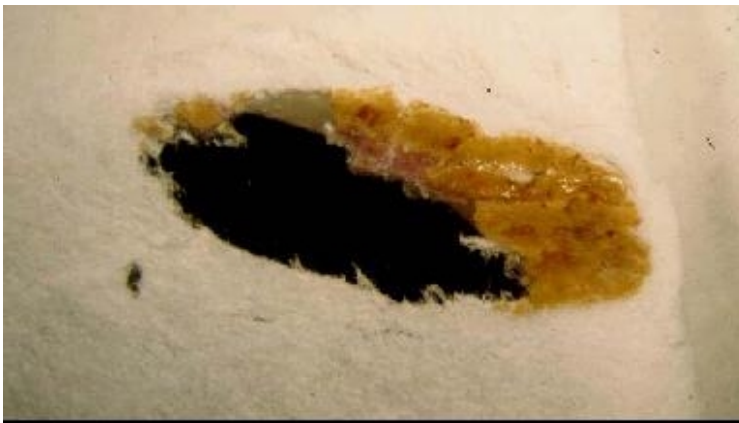


Abbildung 70: Loch in der Papierbahn, verursacht durch Polyvinylacetat-Sticky (Quelle: PTS, München)



Abbildung 71: Sticky-Ablagerung auf einem Papiermaschinensieb (Quelle: PTS, München)

16.2 Adsorptionsgleichgewicht bei der ARS-Methode

Tabelle 18: Siebablagerungen an aufeinanderfolgend eingesetzten Sieben in einer Stoffsuspension, Probe: Doppelstrich Papier mit PSA-Applikation (siehe Kapitel 8.5)

Siebnummer	Ablagerung aus der Stoffsuspension [mg]	Ablagerung aus dem Filtrat [mg]
Sieb Nr. 1	8,3	28,9
Sieb Nr. 2	4,3	9,4
Sieb Nr. 3	2,3	1,5

16.3 Messdaten zur Stickybewertung anhand von Industriestoffen

Tabelle 19: Messmethodenvergleich anhand von Industriestoffen (siehe Kapitel 7.4)

Produktion	Stoffprobe	Stoff- dichte	ARS- Ablagerung	FAC	INGEDE Nr. 4		
		[%]	[mg]	[mg]	Mikro- Stickyfläche [mm ² /kg]	Makro- Stickyfläche [mm ² /kg]	Gesamt- Stickyfläche [mm ² /kg]
Kurzfaser- zellstoff	Siebwasser	0,06	1,7	42,0	0	0,2	0,2
	Stoffauflauf	1,99	1,9	28,0	0	27,0	27,0
	Filtrat des Stoffauflaufs		2,4				
SC-Papier	Siebwasser	0,50	3,7	14,0	0	0	0
	Stoffauflauf	1,12	2,6	18,0	0	31,4	31,4
	Filtrat des Stoffauflaufs		1,0				
Zeitungs- druck- papier	Siebwasser	0,60	2,6	9,0	0	0	0
	Stoffauflauf	1,16	3,3	10,0	127,0	457,7	584,7
	Filtrat des Stoffauflaufs		3,2				
Tissue	Siebwasser	0,02	4,8	6,0	0,1	0,2	0,3
	Stoffauflauf	0,22	0,6	5,0	5199	2629	7828
	Filtrat des Stoffauflaufs		3,2				
Wellen- papier	Siebwasser	0,27	4,3	11,0	4,2	1,4	5,5
	Stoffauflauf	1,44	3,0	12,0	4611	12176	16787
	Filtrat des Stoffauflaufs		32,2				

16.4 Pyrolyse-GC/MS Spektren

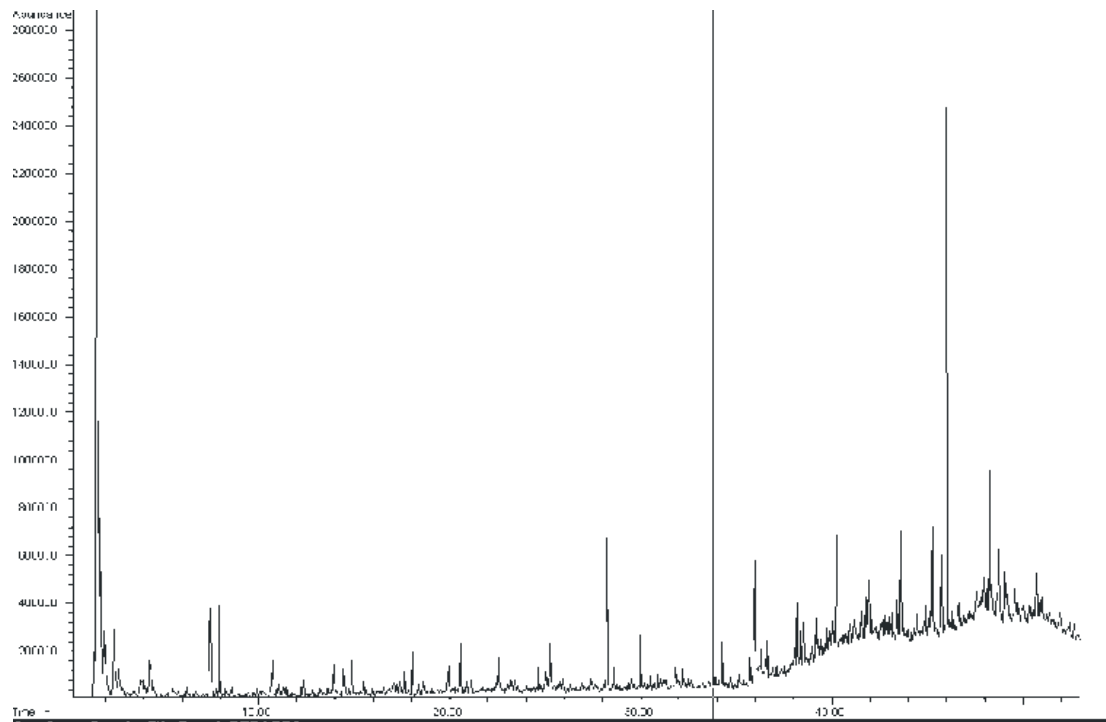


Abbildung 72: Pyr-GC/MS-Spektrum der bei Einsatz einer Papiersuspension mit Latex B GCC-Strich und appliziertem Kleber A gebildeten Ablagerungen

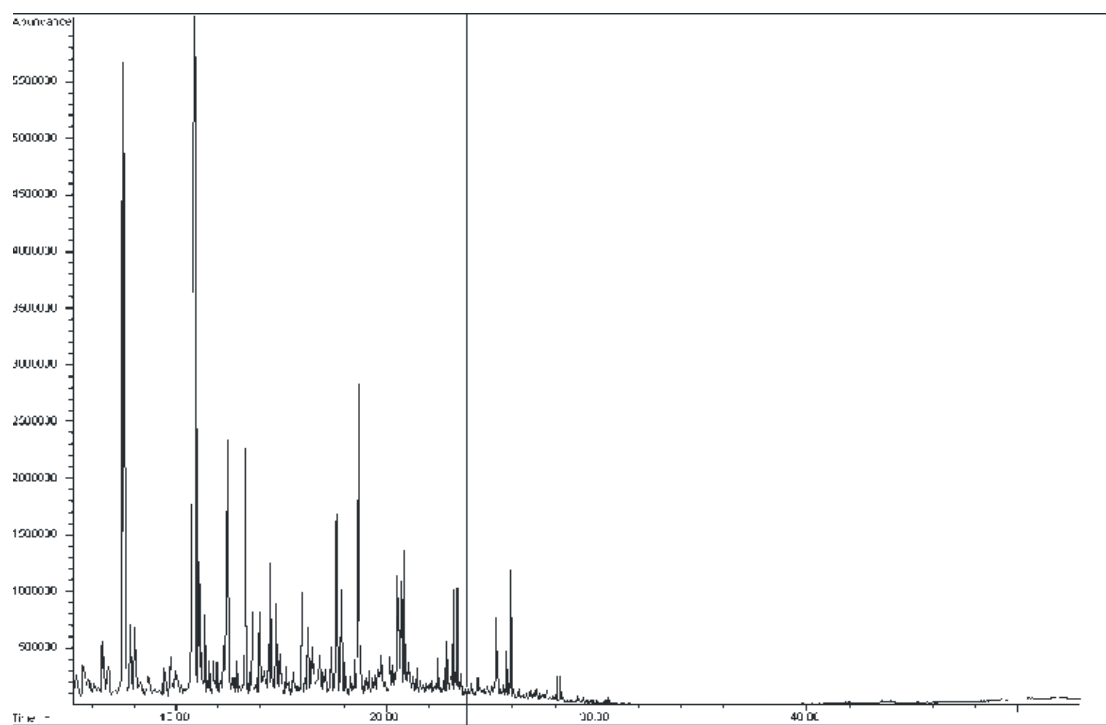


Abbildung 73: Pyr-GC/MS-Spektrum der bei Einsatz einer Papiersuspension mit Doppelstrich-Papier und appliziertem PSA gebildeten Ablagerungen

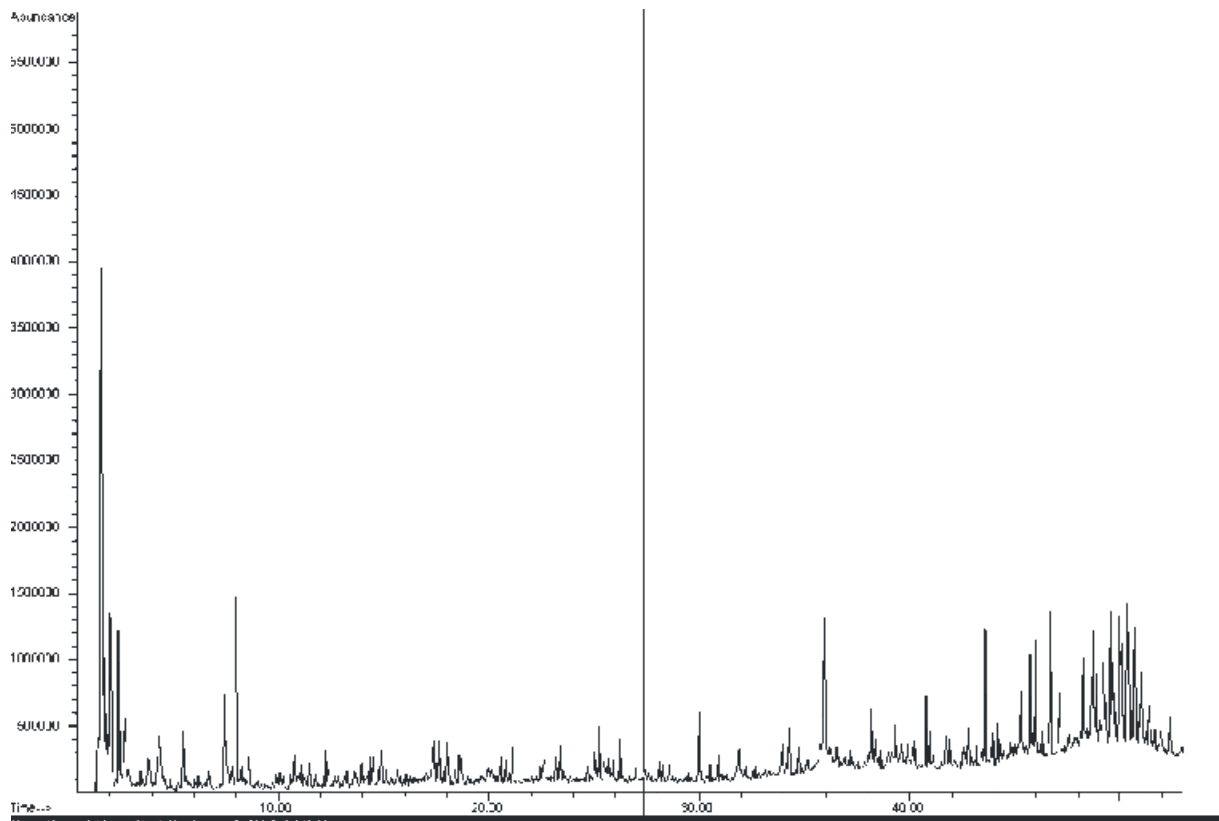


Abbildung 74: Pyr-GC/MS-Spektrum der bei Einsatz einer Papiersuspension mit Rohpapier und appliziertem Kleber B gebildeten Ablagerungen

16.5 Messdaten zur Untersuchung des Ablagerungsverhaltens

Tabelle 20: Untersuchung des Ablagerungsverhaltens unterschiedlich gestrichener Papiere und Klebstoffapplikationen mit der ARS-Methode in Faserstoffsuspension (siehe Kapitel 10.5)

Temperatur [°C]	Klebstoffapplikation	Strichzusammensetzung	Ablagerungsmenge [mg]
45	Kleber A-l	Latex B GCC-1	6,6
65	Kleber A-l	Latex B GCC-1	6,4
45	Kleber A-h	Latex B GCC-1	9,1
65	Kleber A-h	Latex B GCC-1	10,3
45	Kleber B-l	Latex B GCC-1	3,6
65	Kleber B-l	Latex B GCC-1	4,5
45	Kleber B-h	Latex B GCC-1	4,0
65	Kleber B-h	Latex B GCC-1	5,1
45	ohne Klebstoff	Latex B GCC-1	2,9
65	ohne Klebstoff	Latex B GCC-1	5,5
45	PSA	Latex B GCC-1	10,5
65	PSA	Latex B GCC-1	11,2
45	Kleber A-l	Latex B Kaolin-l	2,6
65	Kleber A-l	Latex B Kaolin-l	4,4
45	Kleber A-h	Latex B Kaolin-l	6,2
65	Kleber A-h	Latex B Kaolin-l	7,3
45	Kleber B-l	Latex B Kaolin-l	3,1
65	Kleber B-l	Latex B Kaolin-l	5,7
45	Kleber B-h	Latex B Kaolin-l	5,4
65	Kleber B-h	Latex B Kaolin-l	3,7
45	ohne Klebstoff	Latex B Kaolin-l	2,5
65	ohne Klebstoff	Latex B Kaolin-l	5,6
45	PSA	Latex B Kaolin-l	8,6
65	PSA	Latex B Kaolin-l	9,5
45	Kleber A-l	Latex A GCC-1	4,7
65	Kleber A-l	Latex A GCC-1	9,7
45	Kleber A-h	Latex A GCC-1	8,8
65	Kleber A-h	Latex A GCC-1	12,1
45	Kleber B-l	Latex A GCC-1	7,3
65	Kleber B-l	Latex A GCC-1	9,8
45	Kleber B-h	Latex A GCC-1	6,2
65	Kleber B-h	Latex A GCC-1	9,6
45	ohne Klebstoff	Latex A GCC-1	6,6
65	ohne Klebstoff	Latex A GCC-1	9,0
45	PSA	Latex A GCC-1	5,7
65	PSA	Latex A GCC-1	8,6
45	Kleber A-l	Rohpapier	8,4
65	Kleber A-l	Rohpapier	10,8
45	Kleber A-h	Rohpapier	3,8

65	Kleber A-h	Rohpapier	7,5
45	Kleber B-l	Rohpapier	5,9
65	Kleber B-l	Rohpapier	8,1
45	Kleber B-h	Rohpapier	10,1
65	Kleber B-h	Rohpapier	11,3
45	ohne Klebstoff	Rohpapier	1,3
65	ohne Klebstoff	Rohpapier	3,0
45	PSA	Rohpapier	4,7
65	PSA	Rohpapier	4,2
45	Kleber A-l	Latex B Einfachstrich-2	7,1
65	Kleber A-l	Latex B Einfachstrich-2	8,6
45	Kleber A-h	Latex B Einfachstrich-2	6,9
65	Kleber A-h	Latex B Einfachstrich-2	8,3
45	Kleber B-l	Latex B Einfachstrich-2	6,9
65	Kleber B-l	Latex B Einfachstrich-2	7,5
45	Kleber B-h	Latex B Einfachstrich-2	3,0
65	Kleber B-h	Latex B Einfachstrich-2	5,1
45	ohne Klebstoff	Latex B Einfachstrich-2	5,8
65	ohne Klebstoff	Latex B Einfachstrich-2	6,4
45	PSA	Latex B Einfachstrich-2	3,9
65	PSA	Latex B Einfachstrich-2	4,9
45	Kleber A-l	Latex B Doppelstrich-2	5,8
65	Kleber A-l	Latex B Doppelstrich-2	7,2
45	Kleber A-h	Latex B Doppelstrich-2	8,1
65	Kleber A-h	Latex B Doppelstrich-2	8,6
45	Kleber B-l	Latex B Doppelstrich-2	5,7
65	Kleber B-l	Latex B Doppelstrich-2	5,7
45	Kleber B-h	Latex B Doppelstrich-2	5,1
65	Kleber B-h	Latex B Doppelstrich-2	8,3
45	ohne Klebstoff	Latex B Doppelstrich-2	4,0
65	ohne Klebstoff	Latex B Doppelstrich-2	5,6
45	PSA	Latex B Doppelstrich-2	8,4
65	PSA	Latex B Doppelstrich-2	9,5

Tabelle 21: Untersuchung des Ablagerungsverhaltens unterschiedlich gestrichener Papiere und Klebstoffapplikationen mit der ARS-Methode im Filtrat (siehe Kapitel 10.5)

Temperatur [°C]	Klebstoffapplikation	Strichzusammensetzung	Ablagerungsmenge [mg]
55	Kleber A-l	Latex B GCC-1	9,6
55	Kleber A-h	Latex B GCC-1	14,9
55	Kleber B-l	Latex B GCC-1	7,8
55	Kleber B-h	Latex B GCC-1	10,4
55	ohne Klebstoff	Latex B GCC-1	12,4
55	PSA	Latex B GCC-1	16,0
55	Kleber A-l	Latex B Kaolin-1	11,8
55	Kleber A-h	Latex B Kaolin-1	8,6
55	Kleber B-l	Latex B Kaolin-1	10,9
55	Kleber B-h	Latex B Kaolin-1	9,3
55	ohne Klebstoff	Latex B Kaolin-1	13,6
55	PSA	Latex B Kaolin-1	11,8
55	Kleber A-l	Latex A GCC-1	12,3
55	Kleber A-h	Latex A GCC-1	17,7
55	Kleber B-l	Latex A GCC-1	13,8
55	Kleber B-h	Latex A GCC-1	10,9
55	ohne Klebstoff	Latex A GCC-1	13,6
55	PSA	Latex A GCC-1	13,5
55	Kleber A-l	Rohpapier	10,6
55	Kleber A-h	Rohpapier	14,1
55	Kleber B-l	Rohpapier	11,8
55	Kleber B-h	Rohpapier	11,3
55	ohne Klebstoff	Rohpapier	9,4
55	PSA	Rohpapier	6,8
55	Kleber A-l	Latex B Einfachstrich-2	23,0
55	Kleber A-h	Latex B Einfachstrich-2	12,3
55	Kleber B-l	Latex B Einfachstrich-2	16,9
55	Kleber B-h	Latex B Einfachstrich-2	12,5
55	ohne Klebstoff	Latex B Einfachstrich-2	14,3
55	PSA	Latex B Einfachstrich-2	20,9
55	Kleber A-l	Latex B Doppelstrich-2	25,9
55	Kleber A-h	Latex B Doppelstrich-2	24,6
55	Kleber B-l	Latex B Doppelstrich-2	27,5
55	Kleber B-h	Latex B Doppelstrich-2	26,3
55	ohne Klebstoff	Latex B Doppelstrich-2	28,1
55	PSA	Latex B Doppelstrich-2	29,7

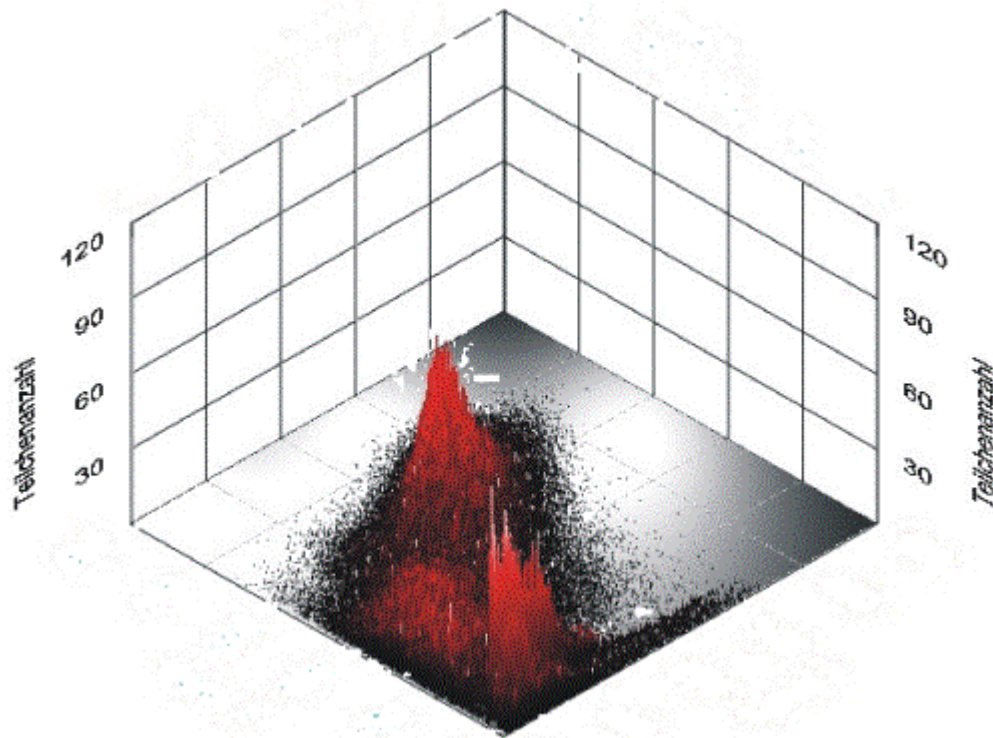


Abbildung 75: Zweidimensionale Pitch Counter-Messung ohne Kaolin

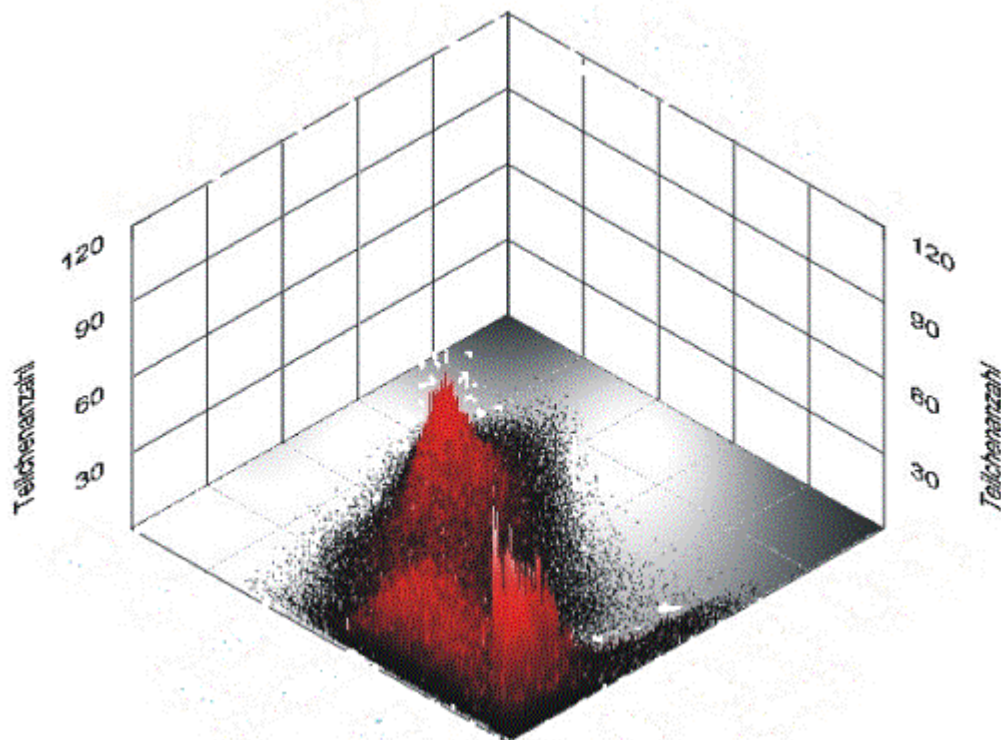


Abbildung 76: Zweidimensionale Pitch Counter-Messung mit geringer Kaolindosierung

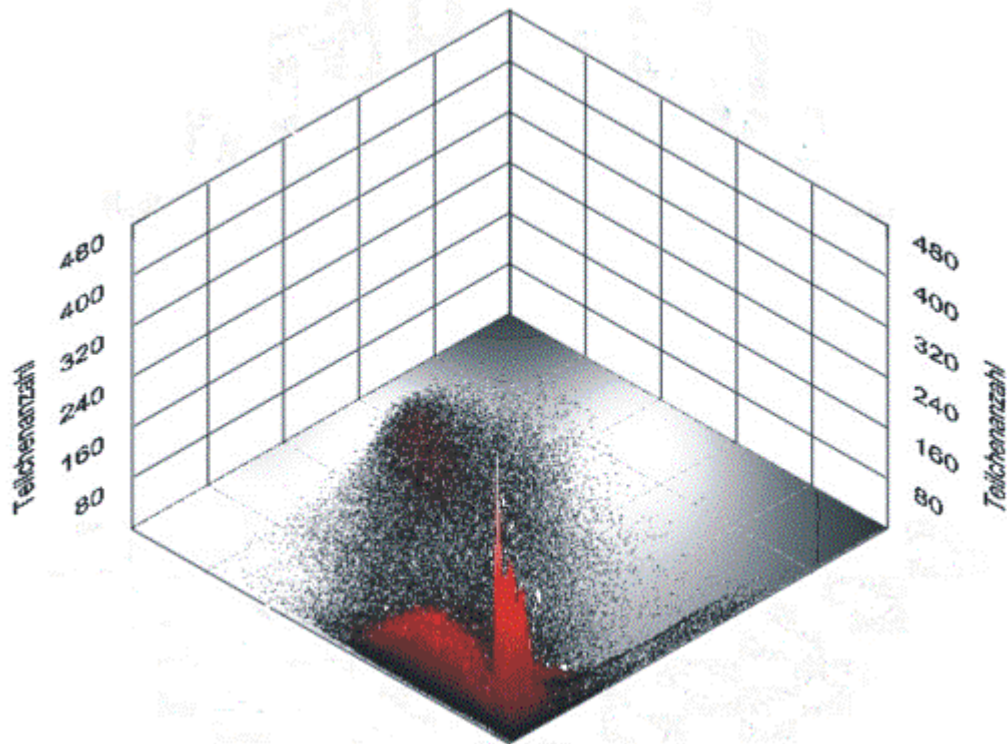


Abbildung 77: Zweidimensionale Pitch Counter-Messung mit hoher Kaolindosierung

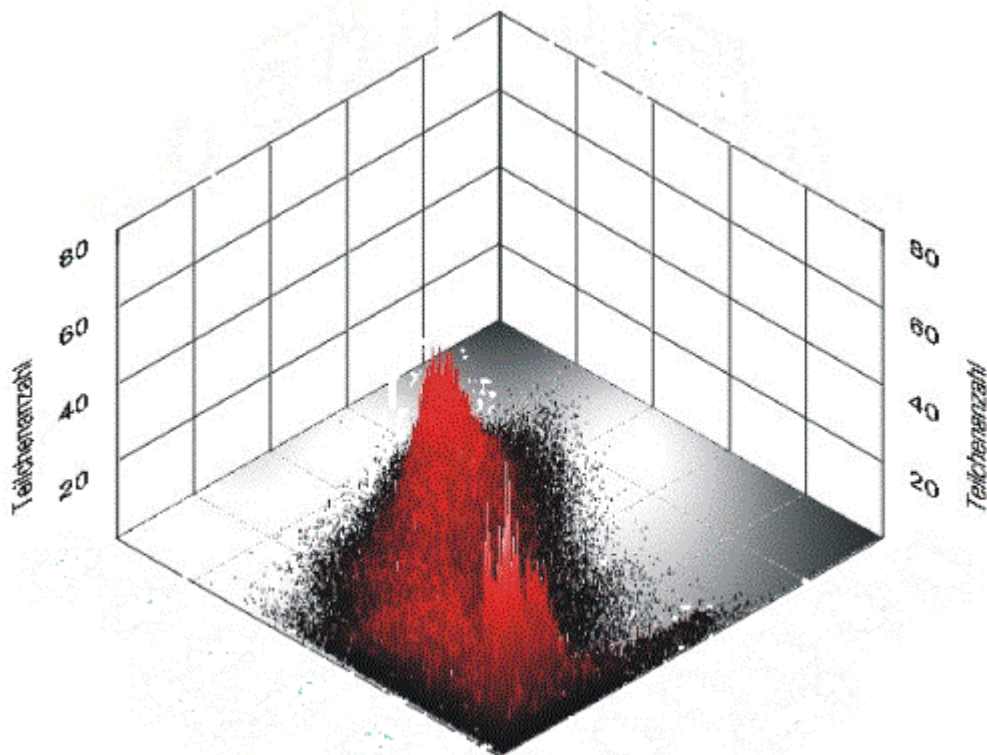


Abbildung 78: Zweidimensionale Pitch Counter-Messung ohne Talkum

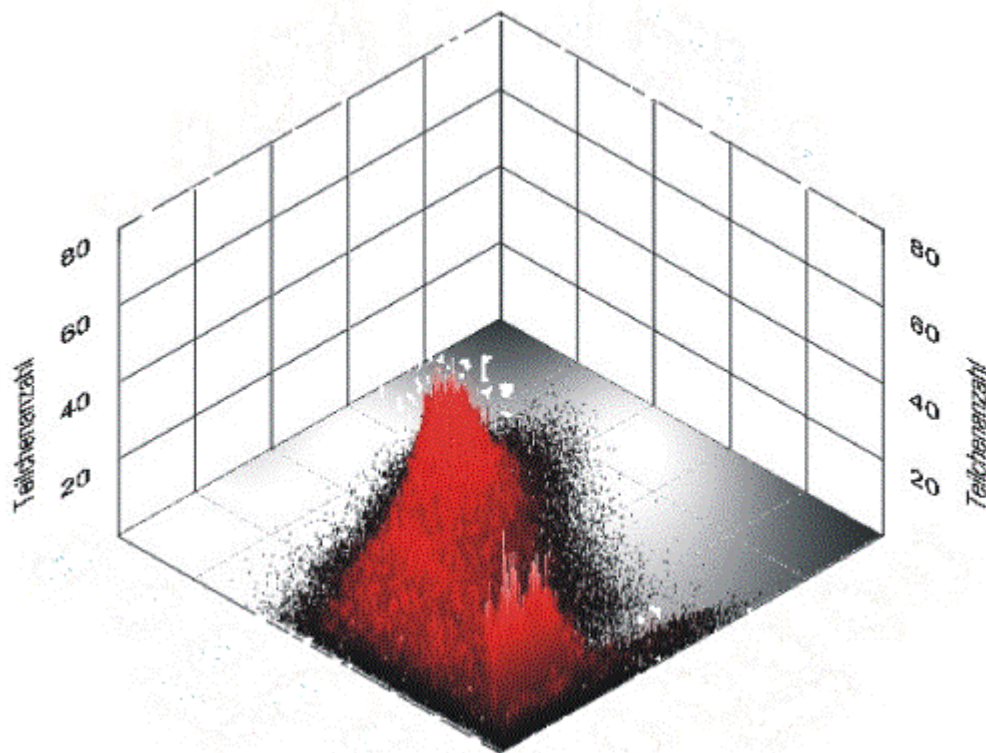


Abbildung 79: Zweidimensionale Pitch Counter-Messung mit geringer Talkumdosierung

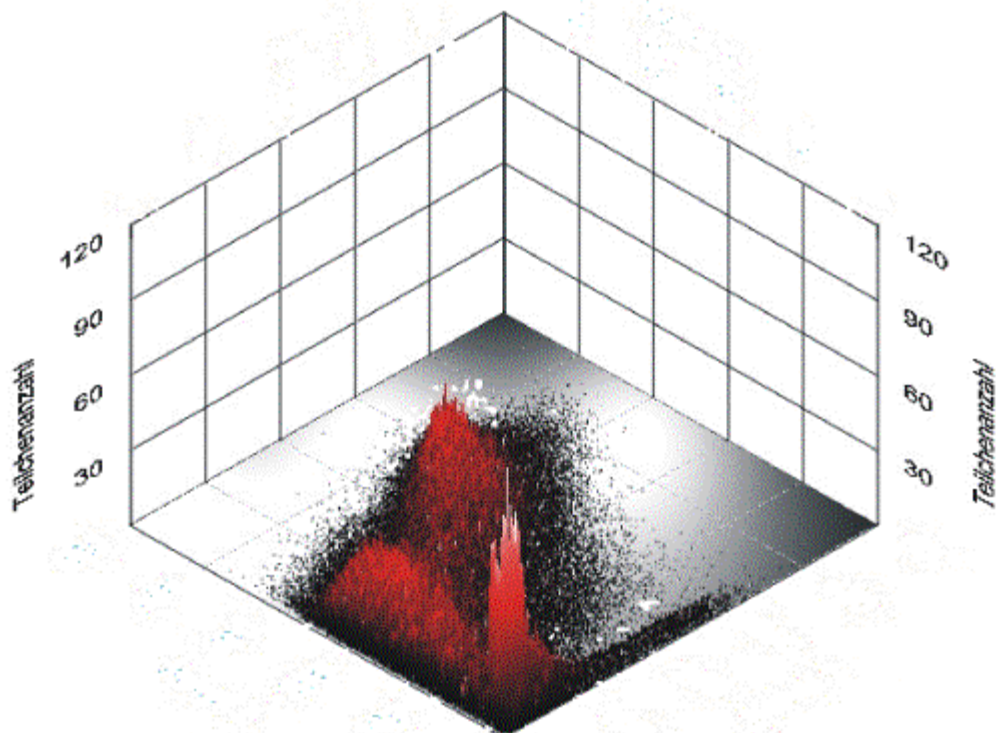


Abbildung 80: Zweidimensionale Pitch Counter-Messung mit hoher Talkumdosierung

Tabelle 22: ARS-Ablagerungen bei Zusatz von Mineralien (siehe Kapitel 10.5.2.1)

Mineralien	ohne Papier	Doppelstrich	Doppelstrich, Filtrat	Doppelstrich+ PSA	Doppelstrich+ PSA, Filtrat
	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
Kaolin Amazon 88	0	1,7	9,8	3,9	10,2
Kaolin SPS	0,1	5,1	11,5	3,1	11,5
Talkum B	0,1	4,2	10,6	1,5	11,7
Talkum C	0,2	6,6	10,8	5,2	13,2
GCC Hydrocarb	0	9,3	19,5	6,9	12,9
Mineralienmischung 50/50					
Amazon88 / GCC	0	6,1	15,9	5,4	12,5
SPS / GCC	0	6,0	12,9	3,8	12,7

Tabelle 23: Oberflächenenergien der gestrichenen Papier mit gezielter Latexvariation (Kapitel 10.5.8)

Papierprobe	Tg	Gelgehalt	Carboxylierung	Oberflächenenergie	disperser Anteil	polarer Anteil
	[°C]	[%]		[mN/m]	[mN/m]	[mN/m]
Latexvariation-1	5	80	normal	35,1	31,5	3,6
Latexvariation-2	15	80	normal	39,5	30,0	9,5
Latexvariation-3	25	80	normal	37,4	31,9	5,5
Latexvariation-4	5	60	normal	35,5	30,8	4,7
Latexvariation-5	5	45	normal	36,1	31,0	5,1
Latexvariation-6	5	80	gering	34,9	31,8	3,1
Latexvariation-7	5	80	hoch	37,9	24,1	13,8

16.6 Messdaten nach Einsatz von Stickybekämpfungsmitteln

Tabelle 24: Messergebnisse der Stickybekämpfung mit verschiedenen Substanzklassen
(siehe Kapitel 11.1)

Hilfsmittel	Makro-Stickys	ARS-Ablagerungen	
	Stickyfläche	Ablagerung Stoff	Ablagerung Filtrat
	[mm ² /kg]	[mg]	[mg]
Nullpunkt 2	11860	10,6	20,3
PAM	12346	7,5	10,7
PA-2	9892	10,3	15,7
Poly-DADMAC-1	11817	15,9	19,5
Poly-DADMAC-2	10999	14,3	18,6
PAC-1	11841	9,7	14,2
PAC-2	10475	5,7	13,4
KMP	10042	6,4	10,2
PAC-3	9815	7,1	18,7
BD-1	9715	13,4	13,6
BD-2	11001	10,5	16,1
BD-3	8934	15,9	17,4
BD-4	13960	10,8	16,2
kationische Cellulose	11478	10,1	14,8
Nullpunkt 1	13724	10,2	15,7
PA-1	11608	10,9	29,2
PEI	12810	6,3	13,5
PVAm-30	12528	5,6	12,9
PVAm-50	13440	5,9	17,0
PVAm-90	12034	1,3	9,6
Talkum A	12509	9,0	11,0
Talkum B	12494	9,2	15,9
Talkum C	12387	8,4	11,3
Bentonit I	13849	16,7	17,9
Bentonit II	13036	10,4	18,0
Talkum A mit PEI	12785	12,5	22,5
Nullpunkt 3	11669	14,1	19,1
Talkum A Knetter	9984	11,9	17,2

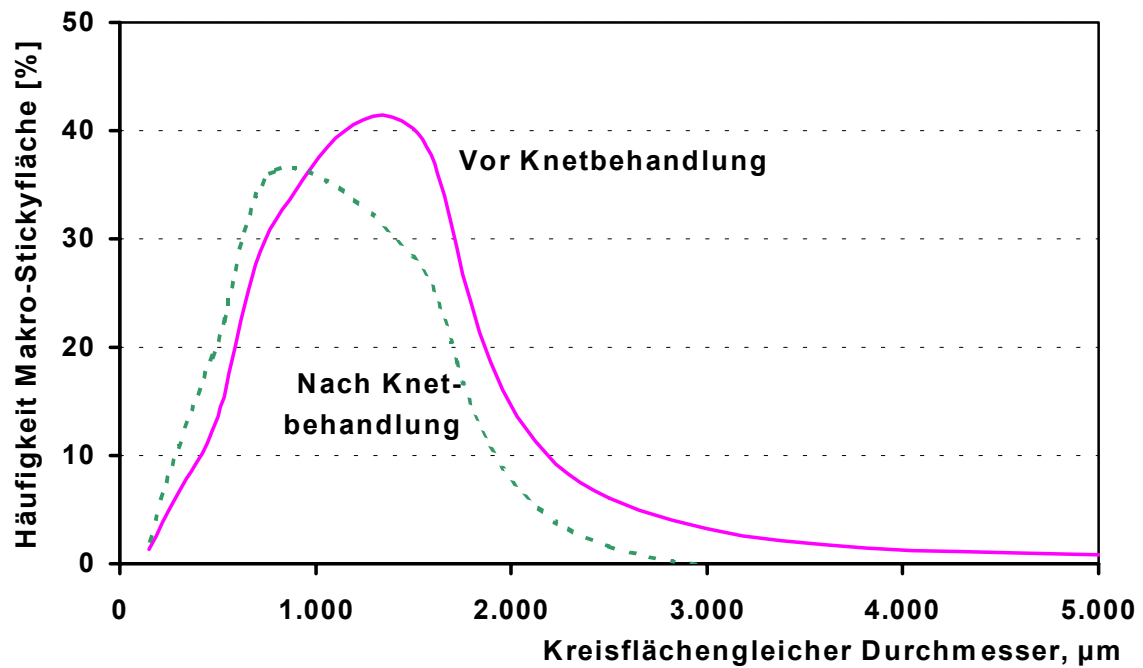


Abbildung 81: Häufigkeitsverteilung von Makro-Stickys vor und nach der Knetbehandlung im Disperger bei Zusatz von Talkum A (siehe Kapitel 11.1)

Tabelle 25: Prozentuale Veränderung der Pitch Counter- und ARS-Messwerte bei Fixiermittelzusatz (siehe Kapitel 11.2)

Stoffprobe + Fixiermittel	Pitch Counter-Methode			ARS-Ablagerung		
	Teilchen- anzahl	Teilchen- volumen	Fläche	Stoffauflauf- Methode	Stoff	Filtrat
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
DIP ohne Zusatz	100	100	100	100	100	100
+ P-DADMAC	49	170	76	235	53	69
+ PA	59	197	87	98	20	63
+ PVAm-1	44	53	42	187	1	90
+ PVAm-2	48	120	61	1	33	77
+ PVAm-3	43	143	60	1	60	87
+ PVAm-4	32	79	40	70	43	41
+ PEI	25	88	36	1	1	64
Doppelstrich-Papier ohne Zusatz	100	100	100	100	100	100
+ P-DADMAC	83	229	152	74	45	49
+ PA	83	351	178	118	65	46
+ PVAm-1	42	207	78	1	30	36
+ PVAm-2	25	258	73	64	14	35
+ PVAm-3	37	237	91	45	35	45
+ PVAm-4	32	150	54	1	1	33
+ PEI	48	280	102	65	31	46

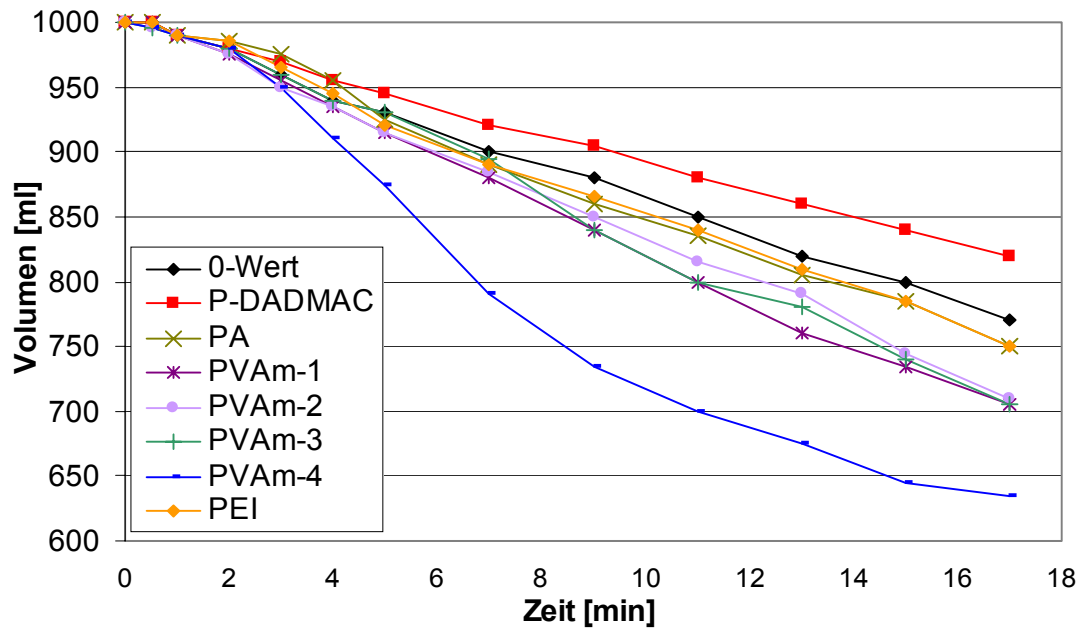


Abbildung 82: Sedimentationsgeschwindigkeit der Doppelstrich-Papiersuspension mit und ohne Fixiermittelzusatz (siehe Kapitel 11.2.6)

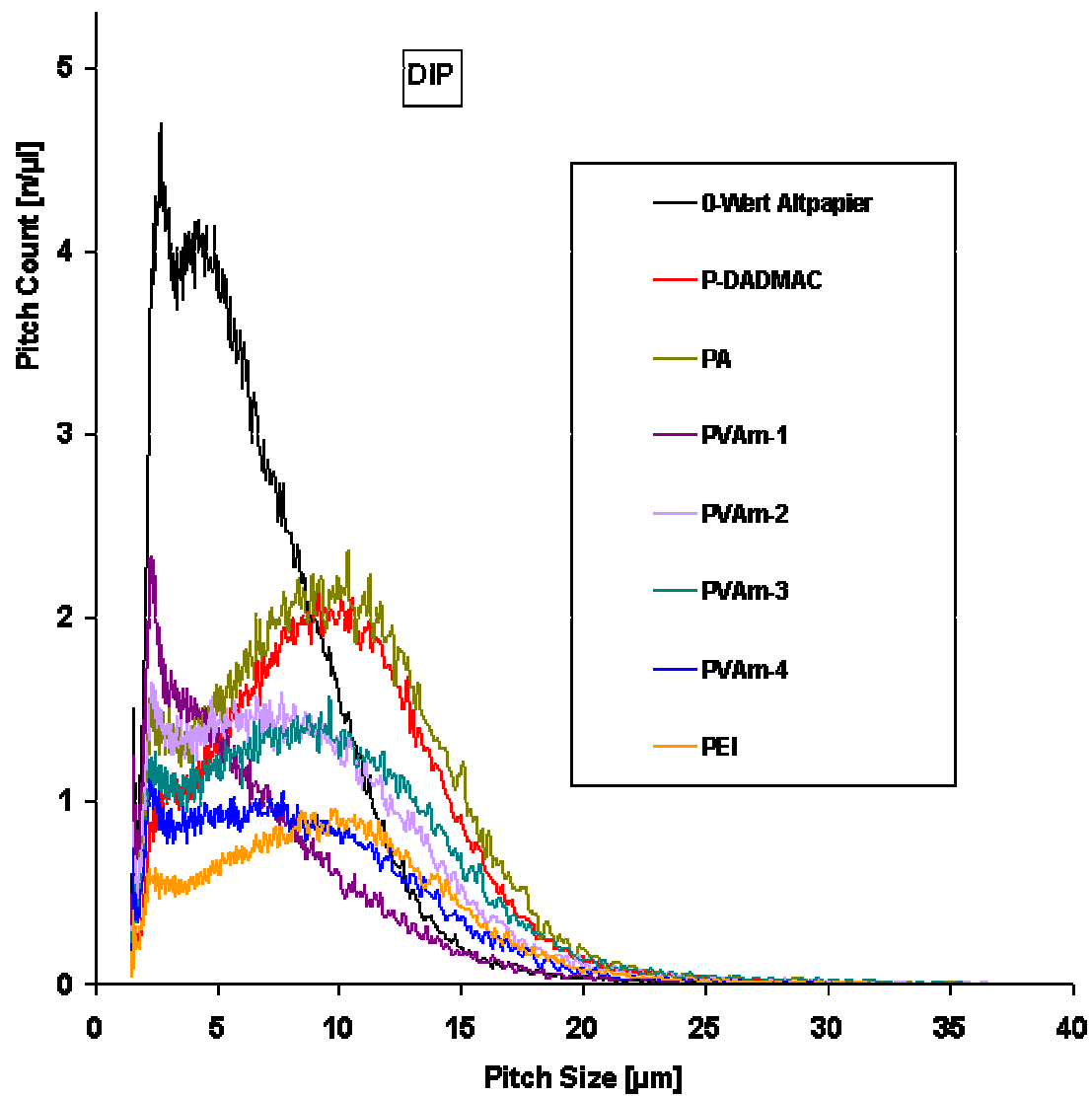


Abbildung 83: Pitch-Counter Kurven von DIP mit und ohne Fixiermittelzusatz (siehe Kapitel 11.2.4)

16.7 NIR-Spektren

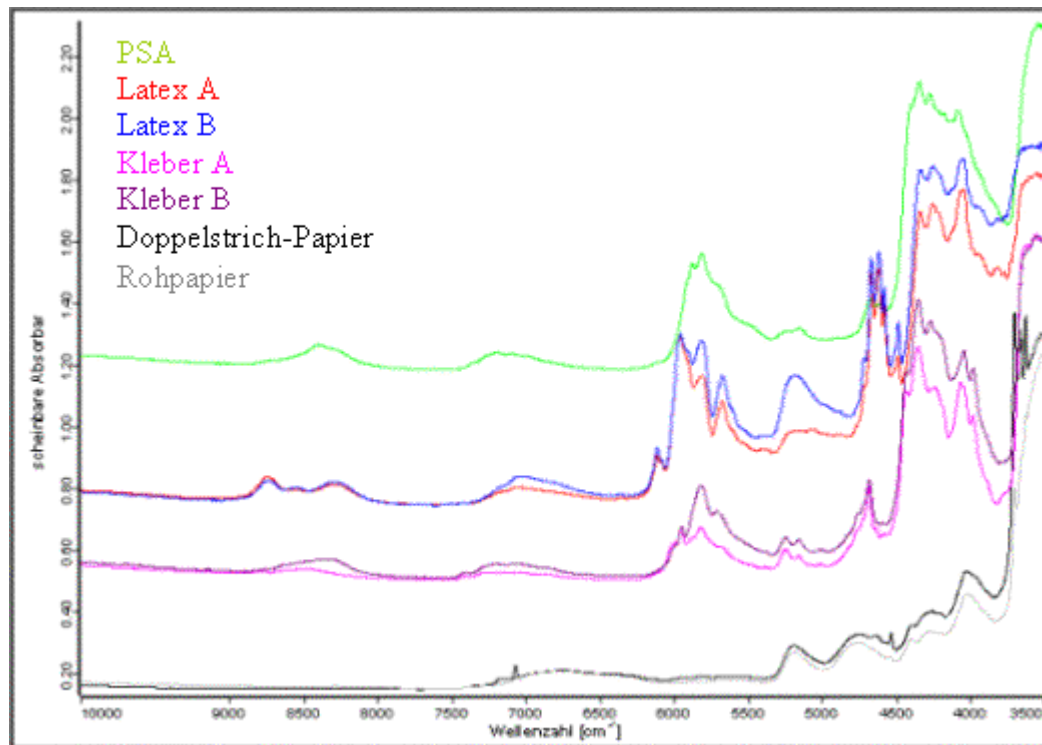


Abbildung 84: NIR-Spektren der verwendeten Kleber, Bindemittel und Papiere

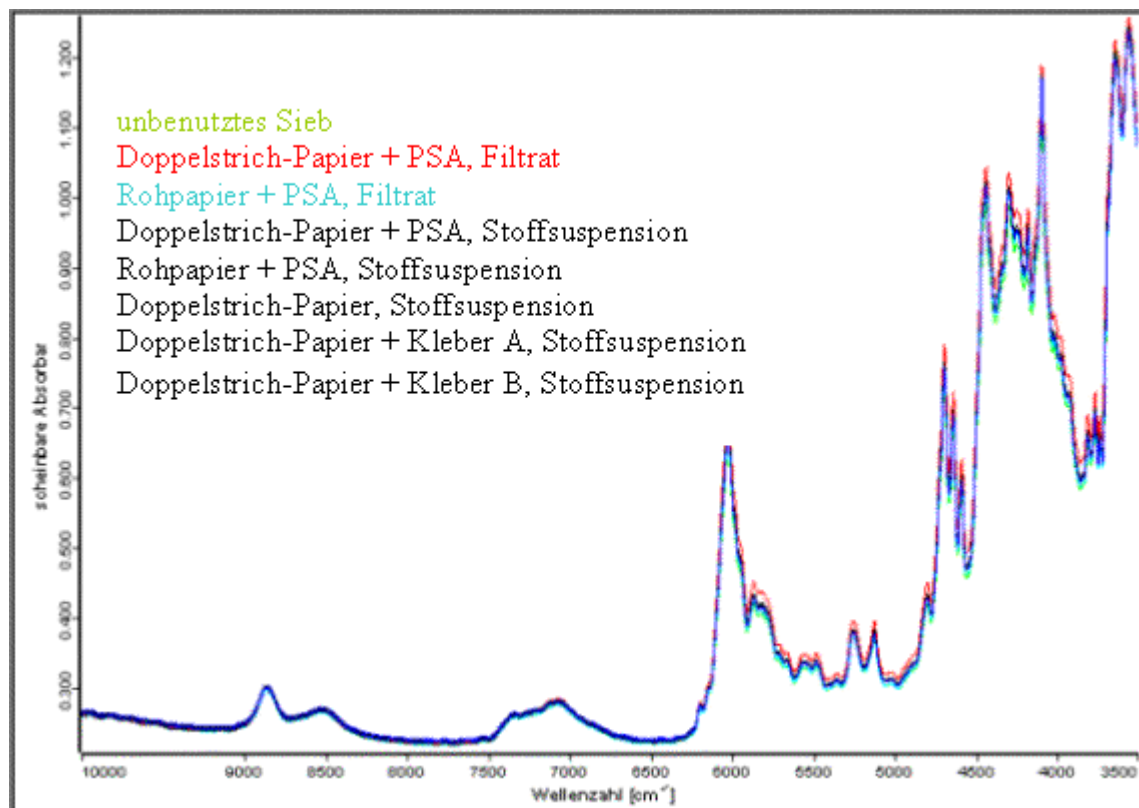


Abbildung 85: Spektren der benutzten und unbenutzten Siebe im NIR-Bereich

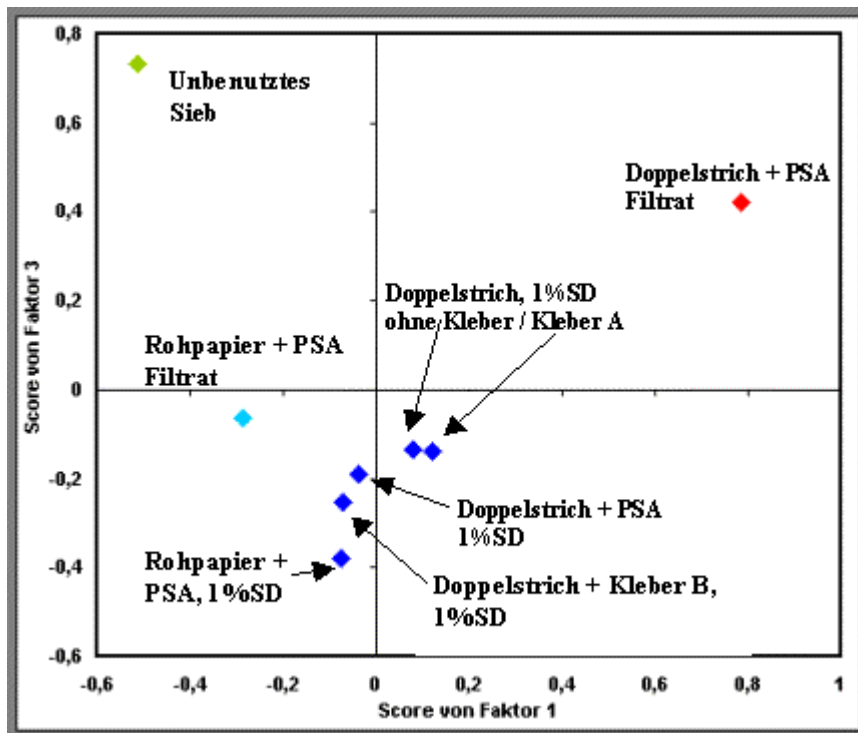
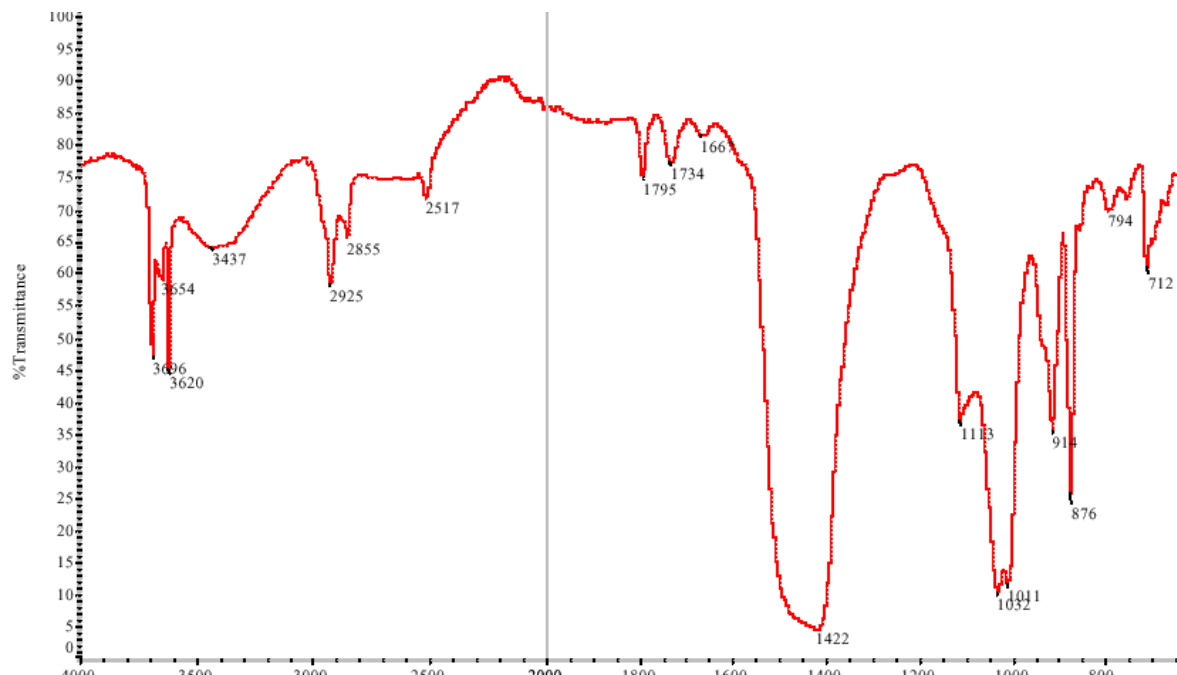


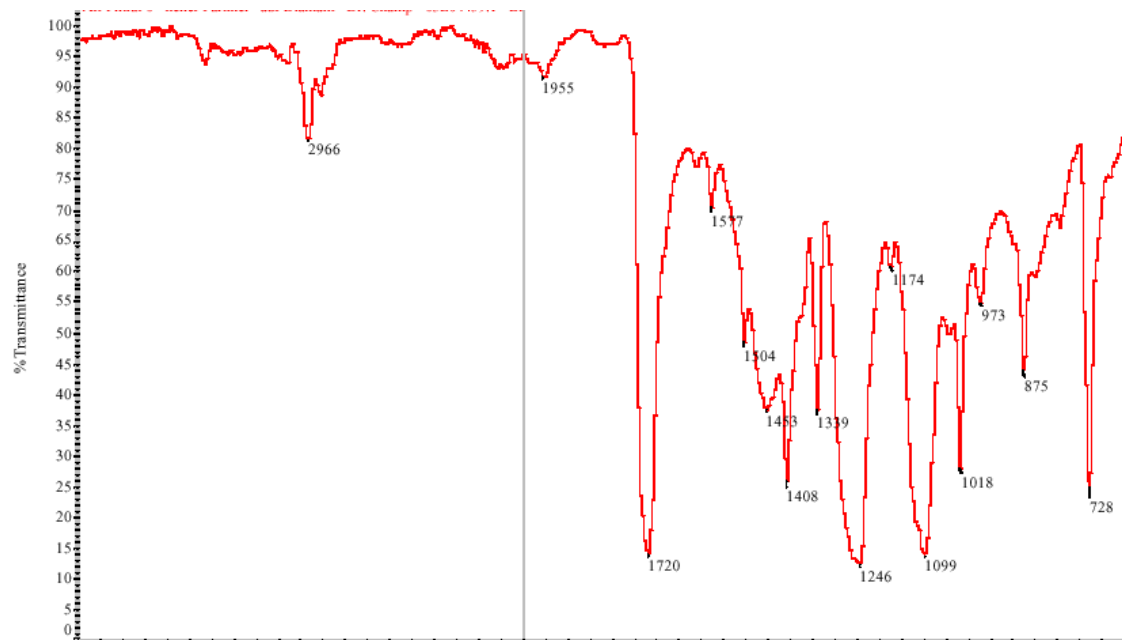
Abbildung 86: Darstellung der Ergebnisse einer Hauptkomponentenanalyse der Spektren von untersuchten Ablagerungen der jeweiligen Proben auf Kollektorsieben im Raum des 1. und 3. Faktors

16.8 IR-Spektren



3. Messung:

**Abbildung 87: IR-Spektrum von isolierten Siebablagerungen einer Altpapierprobe;
Hauptbestandteile: CaCO_3 , Kaolin sowie wenig Ester und Amid**



2. Messung:

**Abbildung 88: IR-Spektrum von isolierten Siebablagerungen einer Altpapierprobe;
Hauptbestandteile: CaCO_3 und Polyethylenterephthalat**

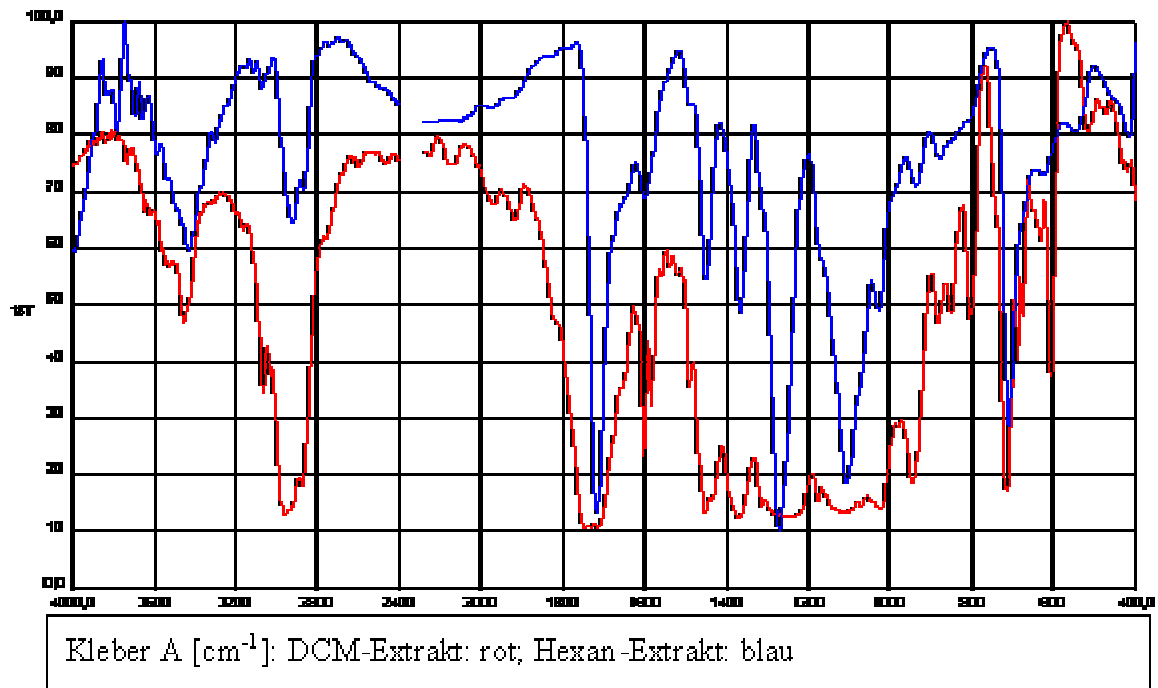


Abbildung 89: IR-Spektren der Extrakte des Klebers A

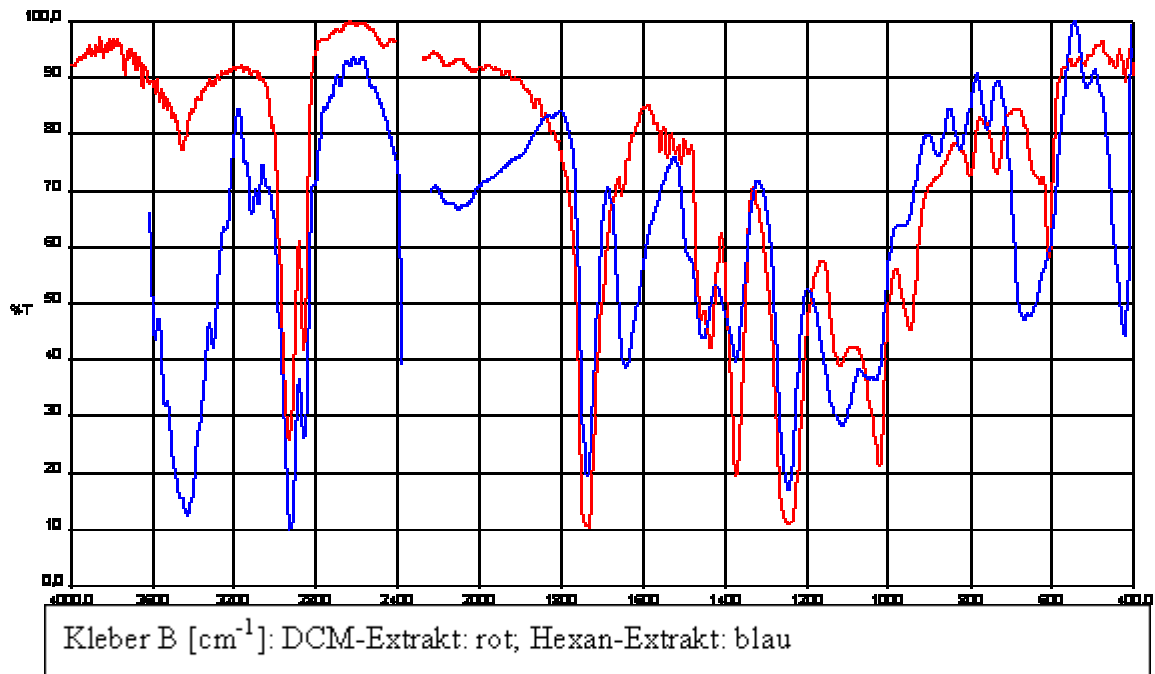


Abbildung 90: IR-Spektren der Extrakte des Klebers B

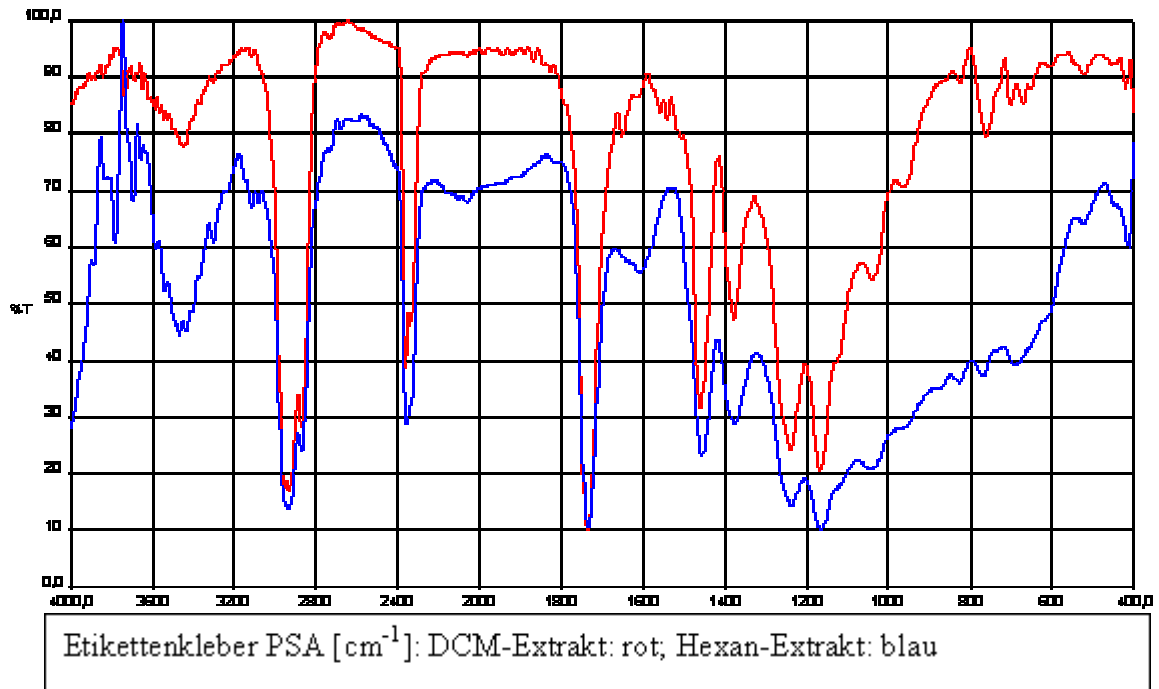


Abbildung 91: IR-Spektren der Extrakte des Haftklebstoffes

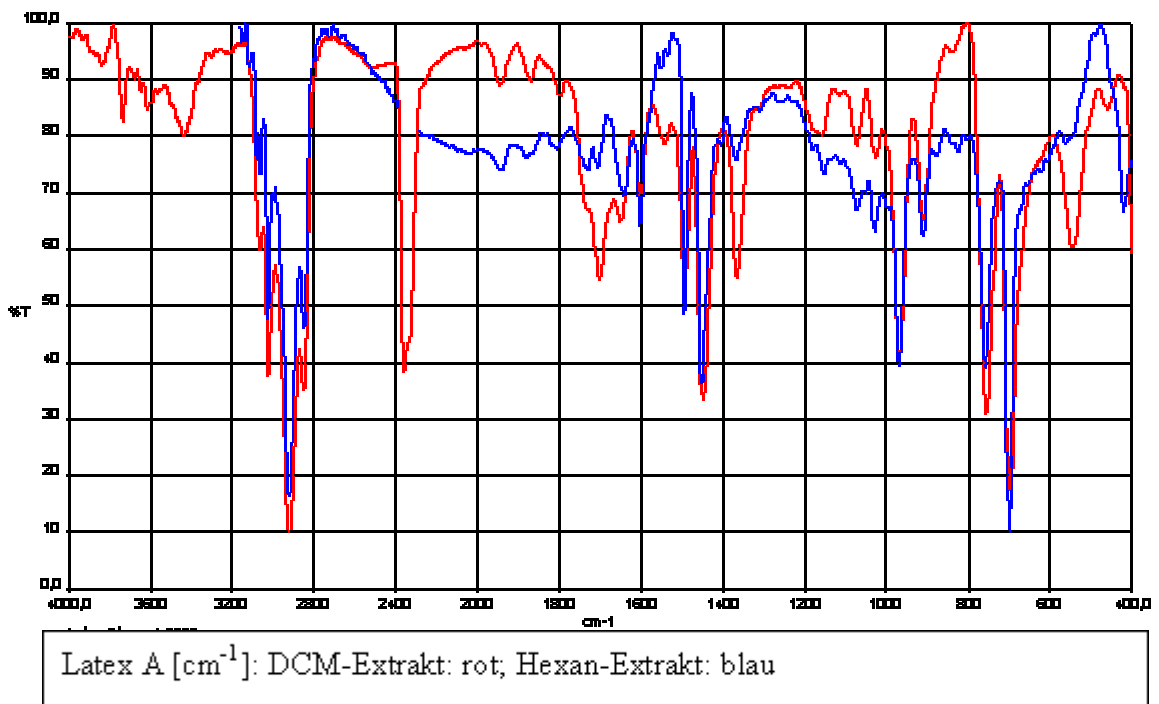


Abbildung 92: IR-Spektren der Extrakte des Strichbinders Latex A

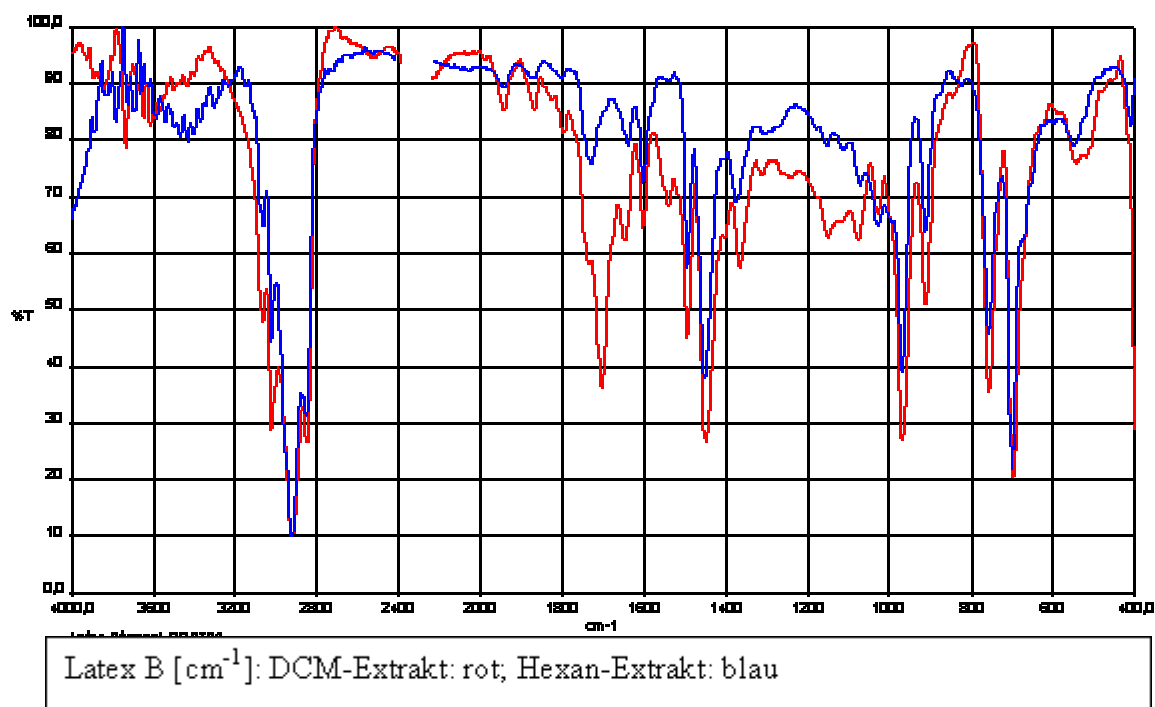


Abbildung 93: IR-Spektren der Extrakte des Strichbinders Latex B

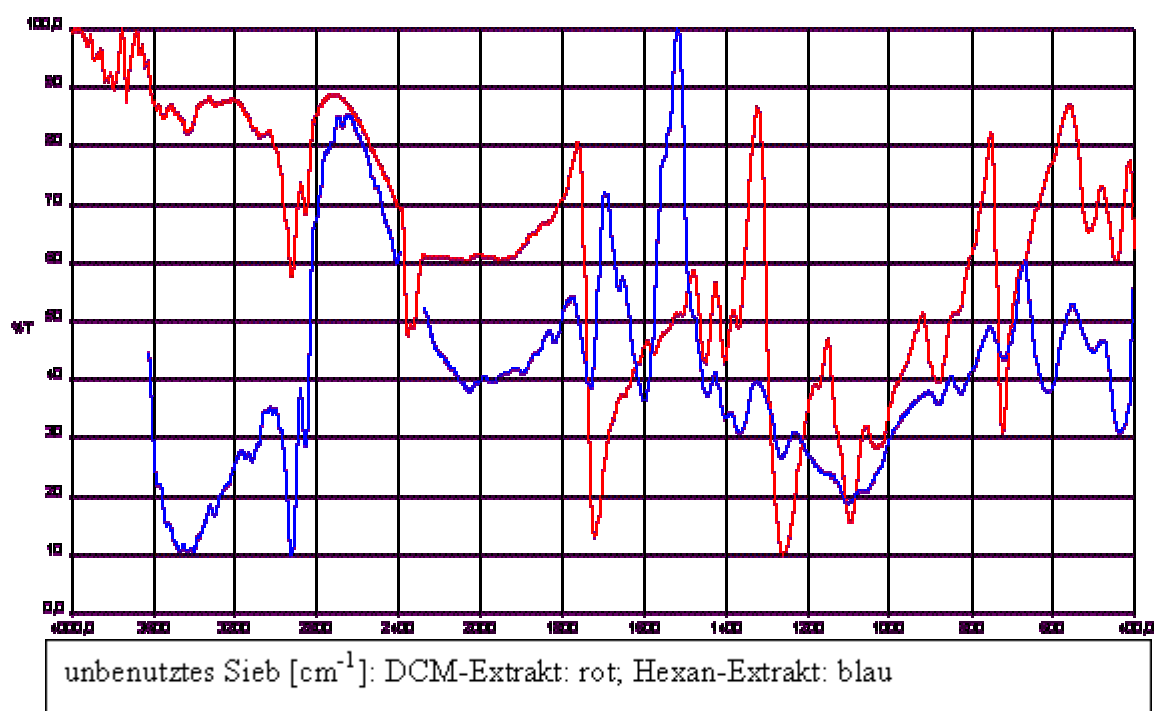


Abbildung 94: IR Spektren der Extrakte des unbenutzten Siebes

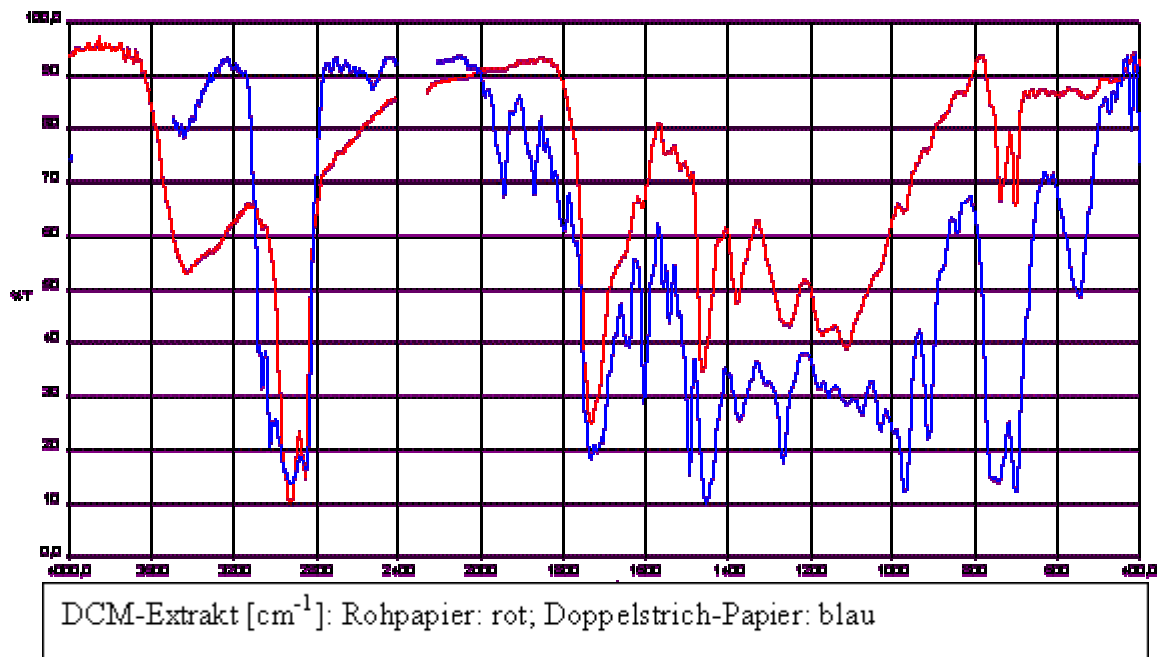


Abbildung 95: IR-Spektren der DCM-Extrakte der beiden eingesetzten Papiere

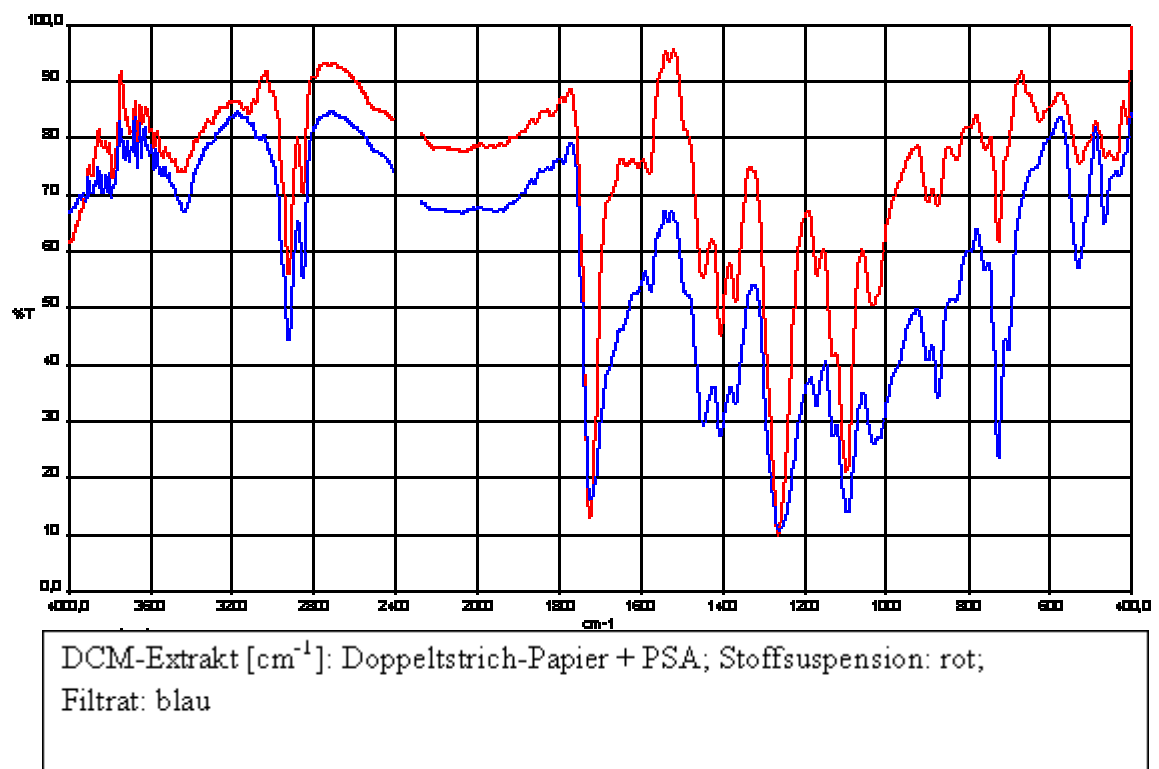


Abbildung 96: IR-Spektren der DCM-Extrakte der Ablagerungen des Doppelstrich-Papiers
+ PSA aus Filtrat und Stoffsuspension

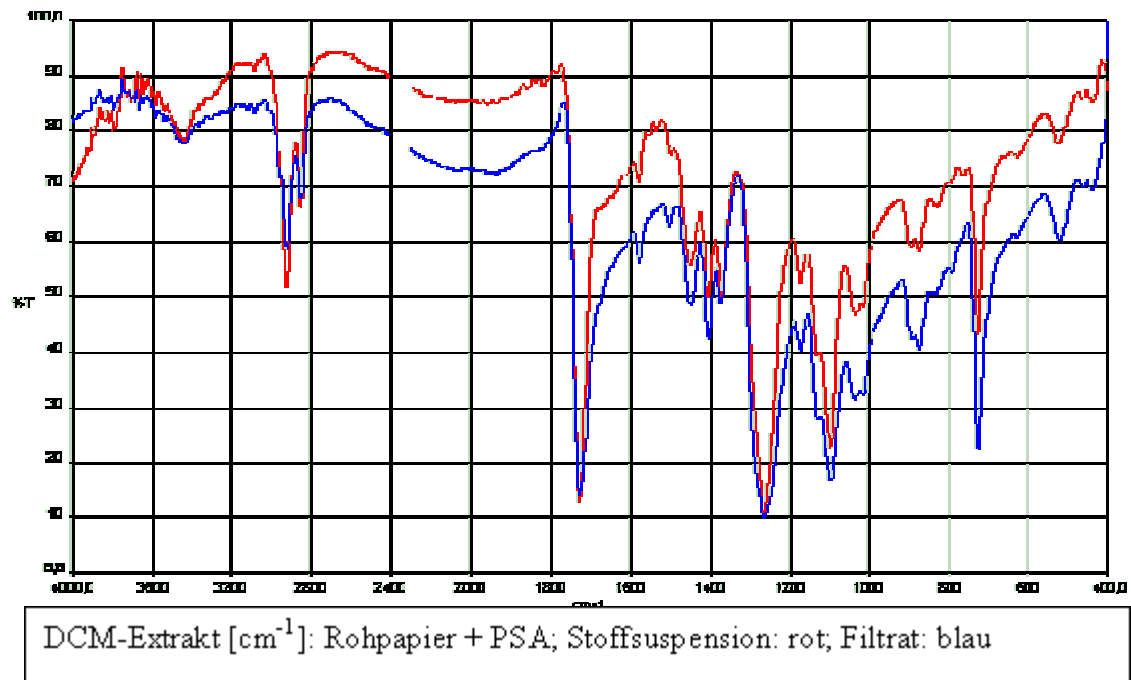


Abbildung 97: IR-Spektren der DCM-Extrakte der Ablagerungen des Rohpapiers + PSA aus Filtrat und Stoffsuspension

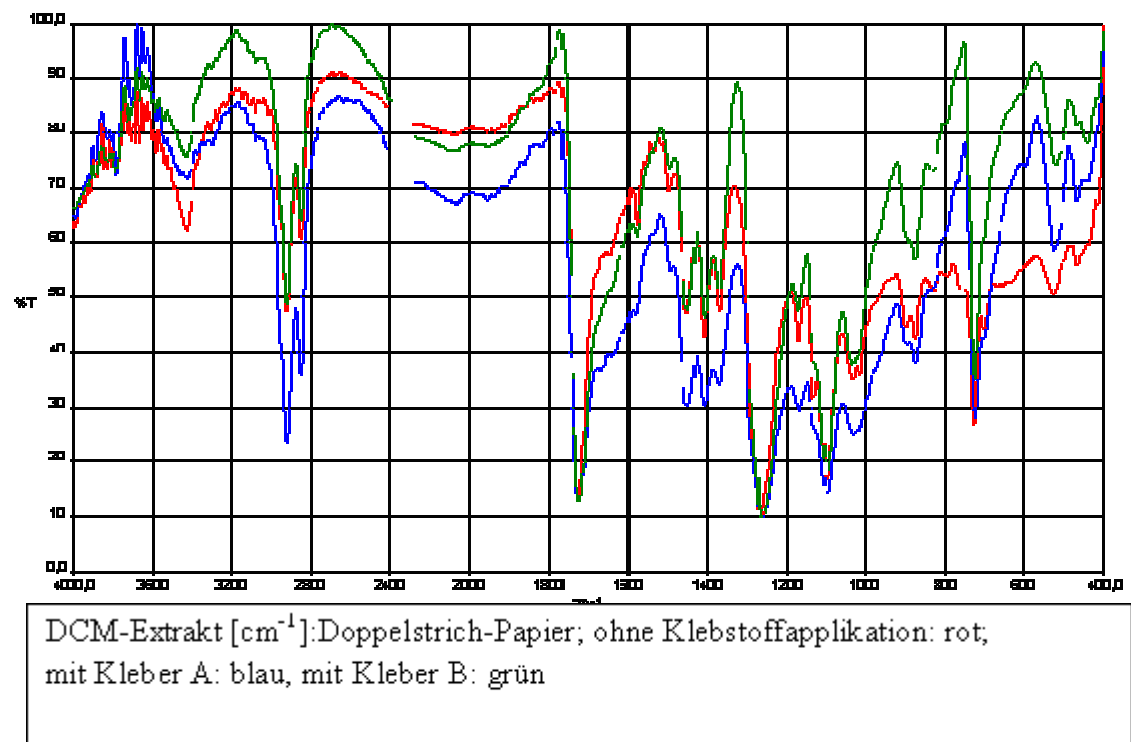


Abbildung 98: IR-Spektren der DCM-Extrakte der Ablagerungen des Doppelstrich-Papiers aus Stoffsuspension mit und ohne Klebstoffapplikation

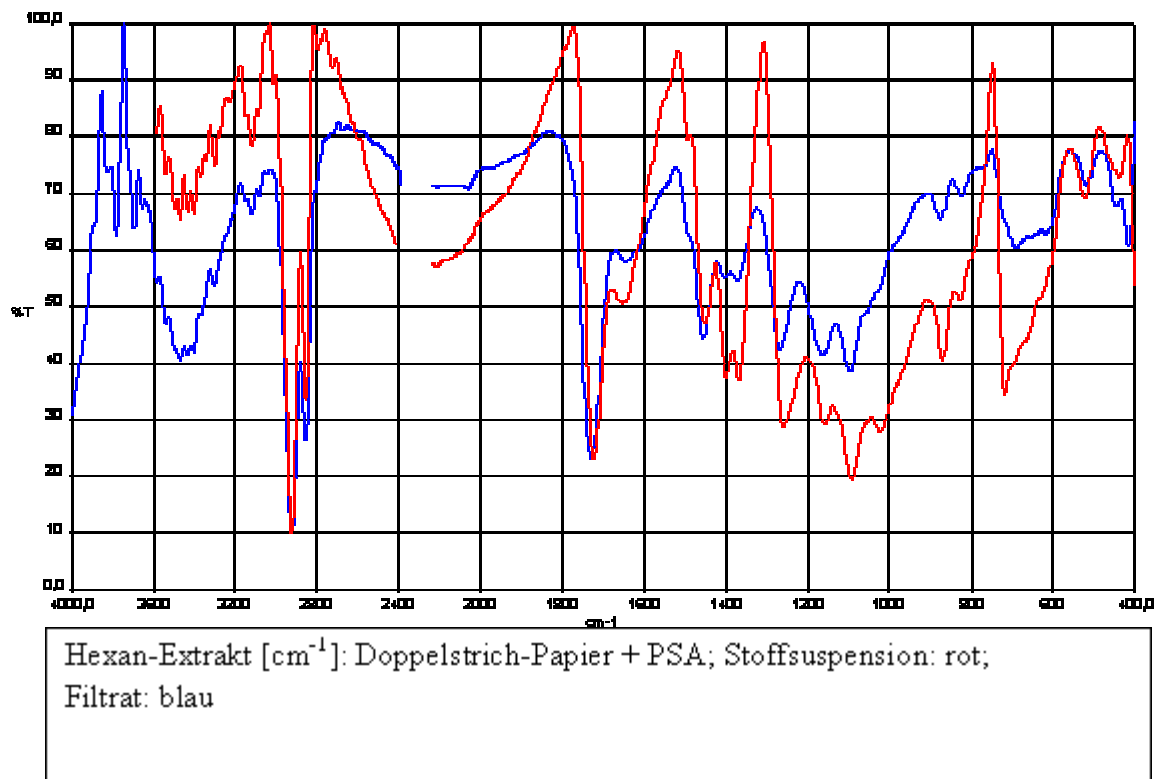


Abbildung 99: IR-Spektren der Hexan-Extrakte der Ablagerungen des Doppelstrich-Papiers + PSA aus Filtrat und Stoffsuspension

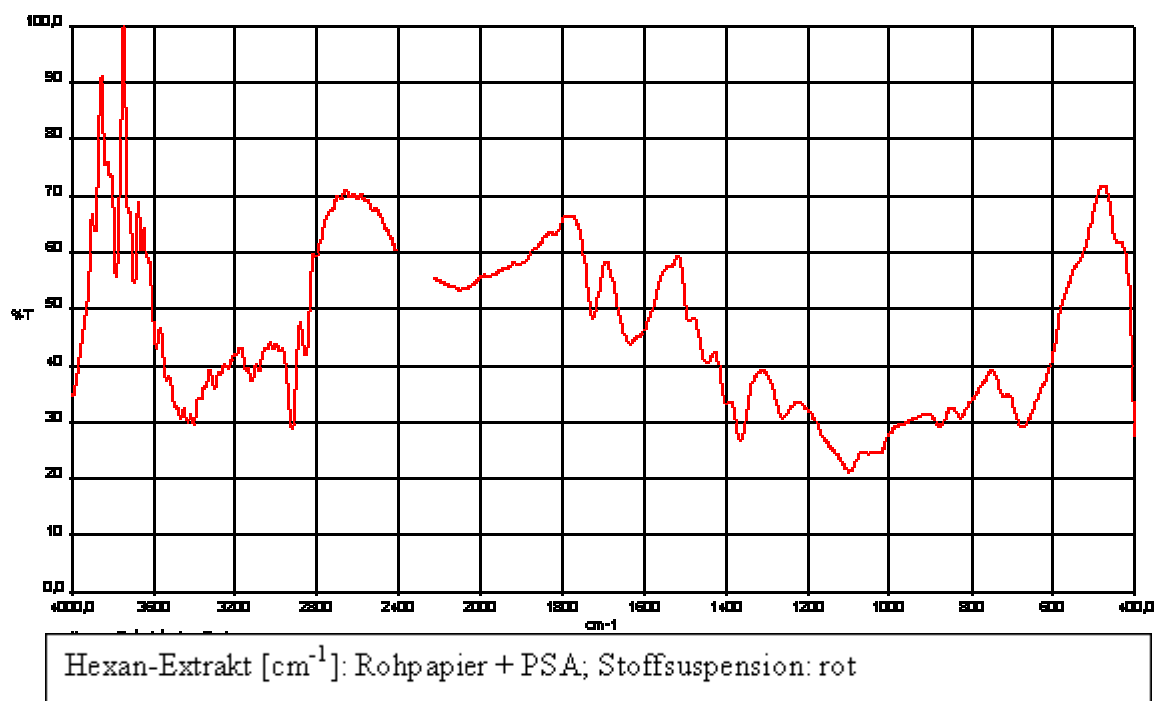


Abbildung 100: IR-Spektren der Hexan-Extrakte der Ablagerungen des Rohpapiers + PSA aus Stoffsuspension

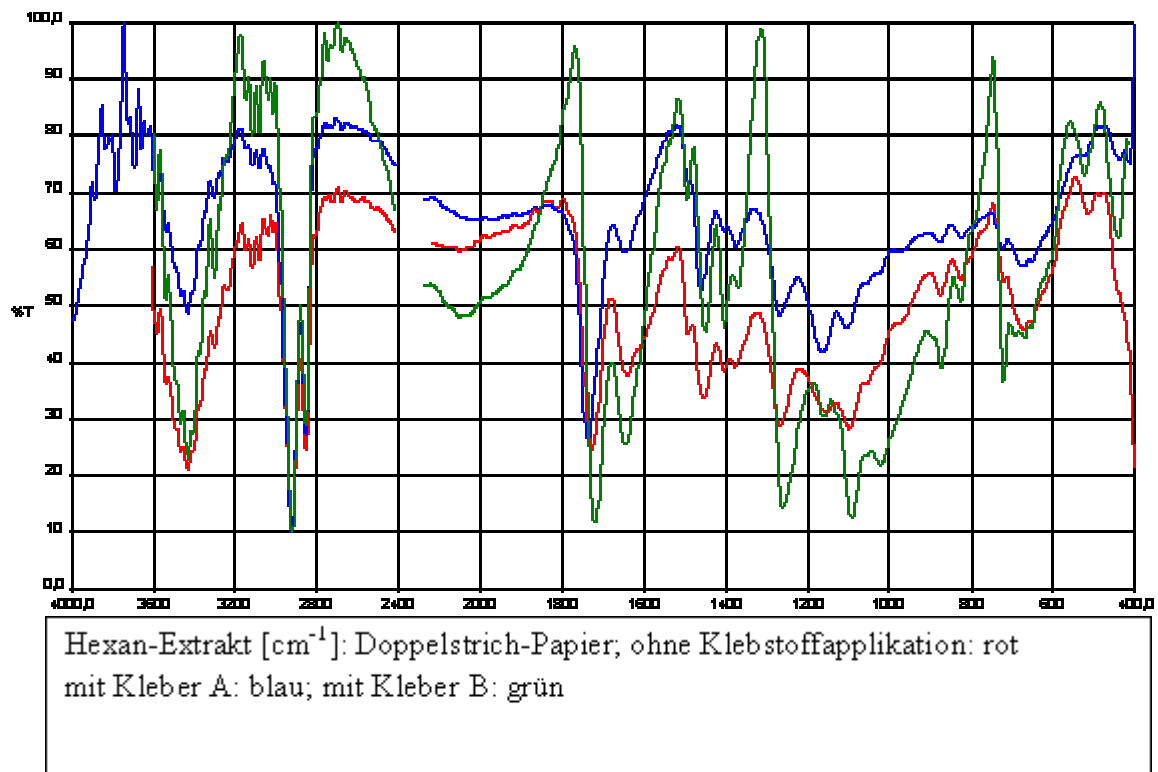


Abbildung 101: IR-Spektren der Hexan-Extrakte der Ablagerungen des Doppelstrich-Papiers aus Stoffsuspension mit und ohne Klebstoffapplikation